

WILLIAM DE OLIVEIRA SANT' ANA

**QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA
BACIA DO RIO URUSSANGA, SC**

Orientação: Prof^a. Dr^a. Gerusa Maria Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Florianópolis (SC), 2008

WILLIAM DE OLIVEIRA SANT' ANA

**QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA
BACIA DO RIO URUSSANGA, SC**

Orientação: Prof^a. Dr^a. Gerusa Maria Duarte

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

Florianópolis (SC), 2008.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da realização deste trabalho, muitas pessoas colaboraram, de uma forma ou de outra, nas diferentes etapas dessa jornada. No entanto, tenho que agradecer de maneira especial alguns desses profissionais e amigos:

À Professora Gerusa Maria Duarte que ofereceu atenção e demonstrou prudência, compreensão durante o período de orientação do trabalho e da vida acadêmica. Obrigado pelos conselhos! Serei eternamente grato.

Aos meus pais: Adão Morona Sant'Ana e Zoleide de Oliveira Sant'Ana, pessoas que acreditaram em meus sonhos e me apoiaram na realização dos mesmos. Às minhas irmãs, Priscila e Karina pelo carinho.

À minha noiva Saionara Martins Ugioni que me apoiou e me deu forças para enfrentar desafios nesta vida. Parabéns a nós!

À CPRM – Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais, pelo estágio oferecido após minha graduação, propiciando vivência em pesquisa. Ao coordenador do CPRM – Criciúma, Doutor Antônio Sílvio Jornada Krebs, ao eminente Geólogo José Eduardo do Amaral e ao amigo Lindomar dos Santos. Forte abraço a Robson Bosa da Silva, Morgane Brogni Pazzetto, Jonathan Campos e Renata Duzzioni Inácio.

Aos colegas de trabalho na Escola Educacional Técnica SATC - EDUTEC e amigos (Mafalda Rosso Izidoro, Walbert Gomes Pinheiro, Tatiana Czornabay Manica, Marcos dos Santos), pelo companheirismo, dedicação, empenho e garra na realização de nossas atividades. Aos colegas do mestrado e, especialmente, aos Professores Joel Pellerin e Edison Tomazzoli, pelos excelentes trabalhos de campo. À coordenação e funcionários do Departamento de Geociências da UFSC, principalmente da secretaria de Pós-Graduação. Sentirei saudades.

RESUMO

A escassez qualitativa de água constitui-se numa realidade preocupante no mundo. Os aquíferos são importantes reservas estratégicas que devem ter seu uso prescrito após estudos e recomendações. Localizada no sul do estado de Santa Catarina, a Bacia do Rio Urussanga pertence à vertente atlântica compreendendo 580 Km², nos quais se apresentam diversos usos dos recursos hídricos. Com o objetivo de analisar a qualidade das águas subterrâneas da bacia, e sua possível interface com as águas superficiais, a fim de caracterizar os impactos das atividades econômicas sobre os recursos hídricos, analisaram-se propriedades geoquímicas destas águas, a espacialização dos poços e suas relações com a Geologia e Geomorfologia. Numa campanha amostral de 30 pontos de coleta de água subterrânea analisou-se a carga iônica de nove variáveis: cálcio, potássio, sódio, cloreto, sulfatos, magnésio, manganês, ferro, alumínio além do pH, condutividade elétrica e alcalinidade total. As águas provêm de poços tubulares, poços escavados, ponteiros e fontes ou nascentes, denotando a captação em diferentes intervalos aquíferos. Utilizando-se de softwares estatísticos, como o *Multi-Variate Statistical Package* e o *Statistica*, elaboraram-se gráficos euclidianos bidimensionais, para uma análise de componentes principais (ACP) e dendogramas resultantes de agrupamentos. Desta forma, buscou-se caracterizar a assinatura hidroquímica destas águas pelos diagramas ternários de *Piper*, semi-logarítmicos de *Schoeller* e horizontais de *Stiff*. O cruzamento das análises permitiu concluir que as águas de aquífero profundo são bicarbonatadas sódicas e as do aquífero freático são cloretadas sódicas. A síntese dos resultados hidroquímicos e estatísticos permitiu a construção de mapa hidroquímico da bacia.

Palavras-chave: qualidade da água, geoquímica, água subterrânea.

ABSTRACT

The qualitative scarcity of water has become a global reason for concern. Aquifers are important strategic reserves that should have their use restricted to studies and recommendations. Located in the southern portion of the State of Santa Catarina, the Urussanga River Basin comprises the Atlantic coastal slope, covering an area of 580 km², and in which several uses for water resources can be found. Aiming at analyzing the quality of ground waters in the basin, and its possible interface with surface waters, in order to characterize its impacts on the economic activities of these water resources, the geochemical analysis of the water was made, most notably, the spatial location of wells and their interactions with Geology and Geomorphology. In a sampling campaign with 30 groundwater collection sites, the ionic load of nine variables were analyzed: calcium, potassium, sodium, chlorides, sulfates, magnesium, manganese, iron, aluminum, in addition to pH, conductivity and total alkalinity. The water was sampled from tubular wells, excavated wells, sources or springs, representing different aquifer intervals. Using statistic processing software, such as *Multi-Variate Statistical Package* and *Statistica*, two-dimensional Euclidean charts were prepared for the assessment of the primary components (*Análise de Componentes Principais* - ACP) and dendograms resulting from these groupings. As such, the objective was to prepare the hydrochemical signature of these waters through the ternary Piper, Schoeller semi-log and horizontal Stiff Diagrams. Cross analysis enabled conclusions that the waters of the deep aquifer are sodic-bicarbonated and the waters of the water table are sodic-chloridated. The summary of the hydrochemistry and the statistical results enabled the development of a hydrochemical map of the basin.

Keywords: water quality, geochemistry, groundwater.

SUMÁRIO

LISTA DE DIAGRAMAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE FOTOS.....	iv
LISTA DE GRÁFICOS	vi
LISTA DE MAPAS	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa.....	14
2 MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 Procedimentos Gerais	16
2.2 Procedimentos Específicos	17
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	22
3.1 Geologia do sudeste catarinense	22
3.1.1 Bacia do Paraná.....	25
3.1.1.1 Estratigrafia da Bacia: Coluna <i>White</i>	26
3.2 Domínios Morfológicos	29
3.2.1 Modelado de dissecação.....	32
3.2.1.1 Serras do Leste Catarinense.....	32
3.2.1.2 <i>Sill</i> do Montanhão.....	34
3.2.1.3 Unidade das Rochas Sedimentares	34
3.2.2 Modelado de acumulação	36
3.2.2.1 Planície de Cristas Praiais com Dunas e Planície Fluvial.....	36
3.3 Aspectos Hidrológicos da Bacia do Rio Urussanga (BRU)	37
3.3.1 Características climáticas da Bacia do Rio Urussanga (BRU)	39
3.4 Setorização da Bacia do Rio Urussanga	42
3.4.1 Alta Bacia	42
3.4.2 Baixa Bacia	47
3.4.2.1 Baixada Fluvial	47
3.4.2.2 Planície de Cristas Praiais com Dunas.....	50
3.4.3 Qualidade das águas superficiais na BRU	53
4 ÁGUA SUBTERRÂNEA	56
4.1 Água superficial e água subterrânea.....	58
4.2 Permeabilidade e migração das águas subterrâneas	61
4.3 Diferenças na litologia e armazenamento de água	63
4.4 Aqüíferos e camadas confinantes	64
4.5 Fontes de água	67
5 GEOQUÍMICA.....	68

5.1 Geoquímica Ambiental	69
5.2 Composição da Crosta	70
5.3 Composição química dos magmas e rochas magmáticas	71
5.4 Composição química das rochas sedimentares	71
5.5 Substituição Atômica	73
5.6 Potencial iônico	74
5.7 Concentração do íon hidrogênio	75
5.8 Composição das águas terrestres	76
5.9 Composição química das águas subterrâneas	77
5.10 Qualidade das águas subterrâneas	81
5.11 Influência do material do aquífero na qualidade da água subterrânea	88
5.12 Poluição da água subterrânea	90
6 RESULTADOS: LEVANTAMENTOS DE CAMPO	95
6.1 Poços Tubulares (PT)	95
6.2 Ponteiras (PO)	105
6.3 Poços Escavados (PE)	109
6.4 Fontes ou Nascentes (FT)	112
7 RESULTADOS: PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	117
8 RESULTADOS DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) E AGRUPAMENTO	132
8.1 Poços Tubulares	136
8.2 Ponteiras	138
8.3 Poços escavados	140
8.4 Fontes	142
9 RESULTADOS DOS DIAGRAMAS TRIANGULARES (PIPER), HORIZONTAIS (STIFF) E SEMI-LOGARÍTMICOS (SCHOELLER)	145
9.1 Apresentação Numérica e Gráfica das Amostras	145
9.2 Diagramas Triangulares de Piper	147
9.2.1 Poços Tubulares	149
9.2.2 Ponteiras	150
9.2.3 Poços Escavados	150
9.2.4 Fontes ou Nascentes	151
9.3 Diagramas Horizontais de Stiff	152
9.4 Gráficos semi-logarítmicos de Schoeller e diagramas de SAR	162
9.4.1 Poços Tubulares	163
9.4.2 Ponteiras	166
9.4.3 Poços Escavados	168
9.4.4 Fontes	169
9.4.5 Diagramas de Riscos de Salinidade (SAR)	171
9.5 Mapa Hidroquímico Final	174
10 CONCLUSÕES	178
REFERÊNCIAS	183

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Diagrama de Piper para todos os casos.....	148
Diagrama 2: Diagrama de Piper para poços tubulares.....	149
Diagrama 3: Diagrama de Piper para ponteiras.	150
Diagrama 4: Diagrama de Piper para poços escavados.	151
Diagrama 5: Diagrama de Piper para fontes.	152
Diagrama 6: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 01.....	153
Diagrama 7: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 03.....	153
Diagrama 8: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 11.....	153
Diagrama 9: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 19.....	153
Diagrama 10: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 23.....	154
Diagrama 11: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 38.....	154
Diagrama 12: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 64.....	154
Diagrama 13: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 02.....	155
Diagrama 14: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 13.....	155
Diagrama 15: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 29.....	155
Diagrama 16: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 30.....	156
Diagrama 17: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 08.....	156
Diagrama 18: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 20.....	156
Diagrama 19: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 04.	157
Diagrama 20: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 08.	157
Diagrama 21: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 19.	158
Diagrama 22: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 21.	158
Diagrama 23: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 23.	158
Diagrama 24: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 41.	159
Diagrama 25: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 66.	159
Diagrama 26: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 72.	159
Diagrama 27: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 16.	160
Diagrama 28: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 21.	160
Diagrama 29: Diagrama de Stiff para a água da fonte 01.	160
Diagrama 30: Diagrama de Stiff para a água da fonte 09.	161
Diagrama 31: Diagrama de Stiff para a água da fonte 04.	161
Diagrama 32: Diagrama de Stiff para a água da fonte 11.	161
Diagrama 33: Diagrama de Stiff para a água da fonte 06.	162

Diagrama 34: Diagrama de Stiff para a água da fonte 36.	162
Diagrama 35: Diagrama de Stiff para a água da fonte 43.	162
Diagrama 36: Diagrama de SAR para todos os casos de coleta de água subterrânea na BRU.....	172
Diagrama 37: Diagrama de SAR para poços tubulares na BRU	172
Diagrama 38: Diagrama de SAR para ponteiros na BRU.....	173
Diagrama 39: Diagrama de SAR para poços escavados na BRU.....	173
Diagrama 40: Diagrama de SAR para fontes ou nascentes na BRU.	174

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coluna litoestratigráfica da Bacia Geológica do Paraná para o sudeste catarinense.....	27
Figura 2: Área limítrofe entre a BRU e a Bacia do Rio Tubarão.....	46
Figura 3: Comunidade de Santana - BRU	46
Figura 4: Baixada fluvial cortada na direção NE-SW pela rodovia BR-101	48
Figura 5: Detalhe da baixada fluvial	50
Figura 6: Imagem demonstrando, no centro, a Lagoa de Urussanga Velha	51
Figura 7: Contato entre os cordões litorâneos holocênicos (Planície de Cristas Praiais com Dunas) e a baixada fluvial (Planície Fluvial)	52
Figura 8: Representação esquemática do ciclo hidrológico.	59
Figura 9: Tipologia de aquíferos.....	65
Figura 10: Verificação da normalidade da variável pH através do software <i>Statistica</i>	118
Figura 11: Resultado do teste de normalidade de três variáveis.....	119
Figura 12: Verificação da normalidade das variáveis após utilização da técnica de “ <i>Chi</i> ” quadrado	131
Figura 13: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas dos Poços Tubulares	138
Figura 14: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas das Ponteiros	140
Figura 15: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas dos Poços Escavados.....	142
Figura 16: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas das Fontes	144

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Modelado de morraria no município de Treze de Maio	33
Foto 2: Morfologia tabular do Montanhão.....	34
Foto 3: Foto tirada no Montanhão no sentido leste	35
Foto 4: Foto da Planície Lacustre, com a Lagoa do Faxinal ao fundo.....	37
Foto 4: Instalações de frigorífico na margem esquerda do Rio Urussanga.....	97
Foto 5: Poço tubular (PT 02) na localidade de Urussanga Baixa	98
Foto 6: Poço tubular (PT 03) na localidade de Estação Cocal	98
Foto 7: Poço tubular 08.....	99
Foto 8: Poço tubular 11	99
Foto 9: Poço tubular 13	100
Foto 10: Pátio da empresa que se utiliza do poço tubular PT 19	101
Foto 11: Poço tubular PT 20	101
Foto 12: Poço tubular PT 23	102
Foto 13: Poço tubular PT 29.....	103
Foto 14: Poço tubular PT 30.....	104
Foto 15: Poço tubular PT 38.....	104
Foto 16: PT 64 sob caixa d'água no alto de colina vegetada	105
Foto 17: Ponteira (PO 04) alocada sobre terreno arenoso sem proteção da área de captação.....	106
Foto 18: Uma das doze ponteiras do ponto PO 08 no Bairro Campo Bom	107
Foto 19: Ponteira 19 para abastecimento residencial.	107
Foto 20: Ponteira 21	108
Foto 21: Ponteira para uso urbano-residencial protegida por caixa.	109
Foto 22: Poço escavado 16.....	109
Foto 23: Propriedade onde localiza-se o PE 21	110
Foto 24: Poço escavado 41	111
Foto 25: Poço escavado 66 no bairro Esplanada.....	111
Foto 26: Poço escavado 72.....	112
Foto 27: Fonte 01	113
Foto 28: Barragem para captação de água (FT 04)	113
Foto 29: Fonte 06	114
Foto 30: Cabeceira de vale com a fonte 09.....	115
Foto 31: Fonte 11	115

Foto 32: Represamento das águas do Rio Vargedo (FT 36).....	116
Foto 33: FT 43 abastece famílias na zona rural de Içara	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Normais de precipitação e temperatura entre os anos de 1961 e 1990 em Urussanga.	40
Gráfico 2: Cruzamento dos eixos 1 e 2 em diagrama bidimensional.....	134
Gráfico 3: Cruzamento dos eixos 1 e 3.	135
Gráfico 4: Gráfico bidimensional exclusivo para poços tubulares.	137
Gráfico 5: Gráfico bidimensional exclusivo para águas de ponteiros..	139
Gráfico 6: Gráfico bidimensional exclusivo para poços escavados.	141
Gráfico 7: Gráfico bidimensional exclusivo para fontes.....	143
Gráfico 8: Concentração dos metais analisados nas águas dos poços tubulares...	163
Gráfico 9: Teores de sais nas águas dos poços tubulares.....	164
Gráfico 10: Condutividade elétrica, alcalinidade total e pH das águas de poços tubulares da BRU.	164
Gráfico 11: Distribuição dos metais em ponteiros.	167
Gráfico 12: Teores de sais nas águas das ponteiros.	167
Gráfico 13: pH, Alcalinidade e Condutividade nas águas de ponteiros.....	168
Gráfico 14: Concentração de metais nos poços escavados.....	168
Gráfico 15: Concentração de sais nas águas dos poços escavados.	169
Gráfico 16: Condutividade, alcalinidade e pH nas águas de poços escavados BRU.....	169
Gráfico 17: Concentração de metais nas águas de fontes.....	170
Gráfico 18: Concentração de sais nas águas de fontes.	170
Gráfico 19: Condutividade, Alcalinidade e pH para as águas de fontes analisadas.	171

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da Bacia do Rio Urussanga (BRU).....	23
Mapa 2: Mapa Geológico - BRU.....	24
Mapa 3: Mapa Geomorfológico - BRU.....	30
Mapa 4: Modelo digital de elevação do terreno - BRU.....	45
Mapa 5: Mapa de Fontes de Poluição - BRU.....	55
Mapa 6: Mapa de Pontos de Campo – BRU.....	96
Mapa 7: Mapa Hidroquímico – BRU	175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Divisão taxonômica do relevo para a BRU	31
Quadro 2: Normais climáticas da Bacia do Rio Urussanga.....	39
Quadro 3: Chuvas no ano de 2005 na Bacia do Rio Urussanga. Estação Meteorológica de Urussanga.....	41
Quadro 4: Água doce na hidrosfera e sua taxa de troca	58
Quadro 5: Variação da porosidade conforme o tipo de rocha ou sedimento.....	64
Quadro 6: Elementos químicos mais comuns na crosta terrestre	71
Quadro 7: Composição química das rochas (%)	72
Quadro 8: Potenciais iônicos.....	75
Quadro 9: Concentrações de ferro de acordo com o pH.....	76
Quadro 10: Padrão de potabilidade para as substâncias químicas que representam riscos à saúde	85
Quadro 11: Quadro geral com os dados brutos das amostras da BRU.	118
Quadro 12: Padronização dos dados da variável cloro total feita no <i>Excel</i> . Técnica: <i>arco seno</i>	120
Quadro 13: Padronização dos dados da variável condutividade.....	121
Quadro 14: Padronização dos dados da variável alcalinidade.....	121
Quadro 15: Padronização dos dados da variável sulfato. Técnica: arco seno.	122
Quadro 16: Padronização dos dados da variável alumínio. Técnica: arco seno.	122
Quadro 17: Padronização dos dados da variável cálcio. Técnica: arco seno.....	123
Quadro 18: Padronização dos dados da variável ferro.	123
Quadro 19: Padronização dos dados da variável magnésio.	124
Quadro 20: Padronização dos dados da variável manganês. Técnica: <i>raiz</i>	124
Quadro 21: Padronização dos dados da variável potássio. Técnica: log 10.	125
Quadro 22: Padronização dos dados da variável sódio.	125
Quadro 23: Resultado final das onze amostras não normais tratadas pelo Teste Chi.....	126
Quadro 24: Resultado do tratamento estatístico realizado pela técnica de ACP no software <i>MVSP</i>	133
Quadro 25: Conversão das variáveis de mg/l para meq/l.....	145
Quadro 26: Quantidade Equivalente	146
Quadro 27: Exemplo de Balanço Iônico	146

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o ser humano vem transformando a natureza, com o objetivo de tornar a Terra um ambiente mais confortável à sua estadia. A melhoria na qualidade de vida seria o objetivo fundamental. Essa seria a máxima do desenvolvimento humano e, devido a isso, as sociedades fazem uso de todas as ciências e tecnologias conhecidas. Esse processo de transformação da natureza se acelera com o desenvolvimento das atividades econômicas.

O homem iniciou, há algum tempo, uma ruptura com a natureza, transformando-a de acordo com sua vontade e tentando dominá-la. De acordo com Mello (1996), esse processo é continuado e cumulativo, em que muitos dos danos são irreversíveis. Quando o homem começa a tomar consciência que faz parte dessa natureza, passa a ter idéias, como preservação e sustentabilidade.

A proposta atual de desenvolvimento sustentável, conceito às vezes considerado salvador ou milagroso, é, porém, tanto factível, pela força da lógica e pelos conhecimentos e técnicas existentes, quanto poderá converter-se em um sonho distante e utópico, em função de antagonismos e divergências relativas às opções das atividades produtivas humanas (Santos, 1992, p. 100).

No que diz respeito à metodologia de análise dos impactos ambientais, para observar o território, na sua escala e tempo, o método sistêmico da Geografia é o mais indicado. Conforme Santos (1992), “a Geografia tem um discurso unitário e um método dual”. Existe ainda a ressalva de que a ciência geográfica está longe de poder revelar todas as particularidades existentes na relação homem-natureza. Segundo Cholley (1964), a Sociedade aumentou suas combinações urbano-industriais, agrícolas, nas vias de transportes, sem, entretanto, possuir informações suficientes sobre as condições do meio natural, onde essas combinações deveriam se desenvolver.

Essa é a problemática atual, como preservar a natureza e, conseqüentemente, a humanidade? E, ao mesmo tempo, manter e melhorar a sempre procurada qualidade de vida. É uma contradição, pois em benefício de poucos, o planeta é exaurido por grupos numericamente pequenos. Portanto, a qualidade de vida não é ampliada para todos.

Sabe-se que a construção do futuro sustentado depende de realizações produtivas, não se pode simplesmente parar, têm-se que estar indissociadas de

ações preventivas e corretivas das bases ambientais de sustentação. O ser humano, durante a sua existência, vem, na maioria das vezes, explorando de maneira desordenada os recursos naturais e ocupando grandes extensões do planeta. Assim, não observa os problemas que causa ao restante da natureza, levando a uma degradação que deve ser contida e mitigada com eficiência.

A visão imediatista de lucro, alavancada pelo atual modo de produção, vem degradando, cada vez mais, os recursos naturais. A cobertura vegetal, o solo, as águas, são de grande importância para a manutenção e equilíbrio da vida, sendo interdependentes. Segundo Clarke & King (2005), é muito grande a quantidade de água existente no planeta, mas ela é uma substância rara no âmbito universal e, sem dúvida, explica a existência da vida da forma conhecida. Conforme Schmiegelow (2004), esse líquido vital é detentor do mais alto calor específico dentre as substâncias sólidas e líquidas comuns, assim, a água modera os extremos climáticos do planeta. Ainda de acordo com Schmiegelow (2004, p. 60), uma propriedade química importante é a capacidade solvente. Como consequência de tal fato, estão os cerca de 50 trilhões de metros cúbicos de sais existentes nos oceanos.

Lisboa (1997) registra que as características exclusivas da água são devidas às suas propriedades especiais na ligação entre os átomos da molécula e entre as próprias moléculas. A estrutura molecular polar, organizada em pontes de hidrogênio, atribui grande capacidade solvente, aumenta o seu calor específico, interferindo nas mudanças de estado físico e diferenciando-a, em muito, de qualquer outra substância conhecida.

A água é o principal recurso que a natureza oferece. A água doce superficialmente encontrada, bem como as águas subterrâneas, estão sobremaneira comprometidas pela alteração ambiental que o homem promoveu nesses meios. É certo que o chamado progresso econômico, sem a observação de possíveis impactos e a falta de planejamento referente aos recursos hídricos, somados com medidas imediatistas alicerçadas na idéia de que a água é um bem renovável, contribuem para a perda quanti-qualitativa deste recurso.

No entanto, a Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (1976) já alertava que, mesmo diante dessa capacidade máxima de se renovar, deve se observar, respeitar o tempo e as condições ideais para que isso ocorra. Existe a possibilidade específica de auto-renovação do solo, da água e do ar, e isso é

naturalmente possível, desde que não se destruam as qualidades essenciais desses recursos e não se polua além do ponto de retorno, diferente para cada ecossistema.

Conforme Clarke & King (2005), em diversas partes do mundo observa-se que a água está assumindo, no século XXI, o papel político que o petróleo teve no século XX, o que já é visível em muitos focos de tensão.

É importante salientar que a utilização dos recursos hídricos não se encerra no abastecimento humano. Há, também, o uso para as atividades agropastoris e industriais. De acordo com Veado (1989), águas poluídas não são adequadas para cultivo de alimentos e dessedentação animal, pois comprometem os solos, a saúde animal e, principalmente, a saúde humana, refletindo, assim, uma perda da qualidade de vida.

A Bacia do Rio Urussanga (BRU), localizada no sul catarinense, recebe efluentes de variadas fontes, inclusive os oriundos da mineração carbonífera e de outras indústrias. Segundo Custodio & Llamas (1983a), o impacto ambiental incidente sobre os rios compromete os aquíferos através de falhas geológicas, solos, fraturas e demais zonas de recarga, onde as águas subterrâneas recebem contribuição das águas superficiais. De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 07), “além da quantidade, também a qualidade da água subterrânea pode ser afetada pela infiltração de água superficial contaminada”. Sabe-se que são os aquíferos que concentram a maioria das águas doces líquidas relativamente preservadas, representando assim, importantes reservas estratégicas.

Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), algumas atividades industriais, como a metalurgia, necessitam de águas nem ácidas ou básicas para resfriamento de suas caldeiras. As atividades agropastoris e industriais acontecem principalmente, nas áreas vizinhas aos afluentes e nas margens do próprio Rio Urussanga, criando, assim, um paradoxo. Essas atividades econômicas necessitam de grandes quantidades de água doce de boa qualidade, no entanto, são as principais responsáveis por sua degradação.

De acordo com Clarke & King (2005), as águas superficiais estão intimamente relacionadas às águas subterrâneas. Dessa forma, qualquer interferência que se fizer sobre os recursos hídricos superficiais incidirá, mais cedo ou mais tarde, sobre os recursos hídricos subterrâneos. As reservas subterrâneas são vinte vezes mais volumosas se comparadas com os fluxos superficiais. Todavia essas águas subterrâneas estão sendo degradadas por diversas fontes de poluição.

Segundo Monteggia & Leão (1983), na Bacia do Rio Urussanga (BRU), a atividade carbonífera proporcionou agravantes como, a disposição das pilhas que se tornaram rejeito de mineração, as antigas galerias de minas preenchidas com águas ácidas, áreas de subsidência de terreno, somadas à natureza das rochas sedimentares, falhas geológicas da área e a má qualidade das águas superficiais que são facilitadores no comprometimento dos aquíferos.

Análises dos elementos constitutivos do carvão mineral sul catarinense comprovaram que existe grande proporção de material mineral não aproveitável no processo de beneficiamento. Muitos compostos são dispensados nas etapas do beneficiamento e queima do carvão mineral e passam a constituir pilhas de rejeitos que são passivos ambientais. O material particulado causa poluição atmosférica, o enxofre e o ferro, associam-se ao oxigênio nos rios promovendo diminuição do pH. Os rejeitos da matéria mineral, sem poder calorífico, durante décadas eram despejados nos rios. Nos anos 90, autores já chamavam atenção para o caso:

As cargas de monóxidos e dióxidos de carbono, metano, enxofre, sulfatos, sólidos totais, ferro total, entre outros, lançados diariamente nos rios, juntamente com o inadequado depósito de rejeitos piritosos, preocupam quando relacionados à manutenção de níveis mínimos de qualidade das águas (Milioli, 1995, p. 34).

O conhecimento da composição química das rochas faz-se necessário para compreender a composição das águas naturais. Conforme Lisboa (1997), segundo suas propriedades químicas, as águas tendem a reagir com os elementos e compostos químicos dos estratos rochosos. Dessa forma, as águas subterrâneas possuem grandes quantidades dos cátions sódio, cálcio, potássio e magnésio e dos ânions sulfato e cloreto.

Nas rochas sedimentares carbonosas em Santa Catarina, um importante mineral de ferro e enxofre é a pirita. Águas subterrâneas que apresentarem pH muito baixo, a exemplo das que estão em contato com a pirita da mineração carbonífera, podem apresentar alto índice de ferro dissolvido. Índícios de baixo pH e da presença de ferro, esse último observável através da coloração laranja que a água adquire quando de sua oxidação, foram diagnosticados nas águas superficiais da Bacia do Rio Urussanga. Veado (1989) e Espinosa (2001) mostraram que, na BRU, os efeitos se faziam sentir praticamente ao longo de todos os quase 60 km de extensão do rio principal, apresentando pH igual a 3.

Existem, ainda, outros problemas ambientais dentro da BRU, como diminuição da biodiversidade, desmatamento, retilinização dos cursos de água, extrativismo de argila e areia, descarte de esgoto urbano, rural e agroquímicos. Um dos impactos é a possível contaminação do lençol freático e dos intervalos aquíferos profundos por rejeitos da lavagem do carvão, importante atividade industrial da área.

Conforme Clarke & King (2005), água subterrânea é produto da infiltração e acumulação da água da chuva, mas esse processo é lento e pode transformar a água, que foi utilizada inadequadamente, num recurso não renovável. É justamente essa água subterrânea que servirá às famílias da BRU que se utilizam, principalmente, de poços escavados, tubulares, ponteiras e das fontes. A população não pode bem administrar, planejar, proteger, recuperar ou conservar algo pouco estudado. Assim, a pesquisa sobre os recursos hídricos subsidia sua melhor gestão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Urussanga.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades geoquímicas das águas de poços e nascentes, no intuito de se constatar anomalias geoquímicas, resultantes das atividades econômicas praticadas na bacia.
- Identificar, por meio da técnica de Componentes Principais, de estatística multivariada, as variáveis químicas nas águas subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga (BRU).
- Identificar o agrupamento químico das águas de poços, de acordo com sua similaridade.
- Analisar as diferentes classes de água subterrânea, naturais e/ou antropizadas, na área da BRU, determinando-se sua distribuição espacial.
- Estabelecer o mapa hidroquímico das águas subterrâneas da BRU.

1.2 Justificativa

Neste trabalho, propõe-se a busca de informações para uma avaliação da qualidade das águas subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga (BRU). Tal iniciativa denota certa originalidade nessa área de sobreposição da Bacia Carbonífera Catarinense pela BRU. O estudo oferece a oportunidade de averiguação da qualidade dos recursos hídricos, auxiliando nas informações que, futuramente, poderão se converter em aumento da qualidade de vida dos habitantes.

De acordo com Clarke & King (2005), a água, como recurso necessário à vida, bem como possível promotora da morte por sua má qualidade ou conflitos decorrentes de seu uso, merece ser melhor estudada. Dentre os usos desse recurso na BRU, o mais importante é, sem dúvida, o abastecimento humano. Muitos cursos d'água, em sua maioria, completamente descaracterizados por resíduos e efluentes

das atividades agrícolas e industriais, são utilizados objetivando o fornecimento de água para as famílias que habitam a bacia. E sabe-se que a qualidade das águas superficiais depende da influência qualitativa das águas subterrâneas e vice-versa.

O efeito cumulativo da degradação promovida pelas indústrias carboníferas, que outrora eram mais pujantes na Bacia do Rio Urussanga, faz se sentir ainda nos dias de hoje. As práticas de beneficiamento do carvão são diretamente responsáveis pelo comprometimento dos mananciais, os superficiais imediatamente. Conforme Milioli (1995), o despejo de águas ácidas e o mau posicionamento de depósitos de rejeitos piritosos sobre morfologias inadequadas das áreas mineradas assoreiam os canais fluviais, comprometendo, por conseguinte, os aquíferos e a qualidade dos recursos hídricos, dentro desse setor da bacia carbonífera sul catarinense.

Quanto a essa cumulativa degradação e os impactos causados pelo mau uso dos recursos hídricos, como por exemplo, no processo de pré-lavagem do carvão nas atividades mineradoras, deve se ressaltar que existe desconhecimento entre os agricultores da bacia sobre a qualidade dessas águas que eles utilizam. Por outro lado, a agricultura com agroquímicos é também uma das principais atividades comprometedoras da qualidade das águas. Outro problema é a falta de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, uma vez que a área tem predomínio de fossas de má qualidade, sendo poucas sépticas, pois se constituem em simples escavações feitas no chão.

Diante desses possíveis problemas, cabem aos agentes degradantes, aos cidadãos, e ao Estado, a preservação das áreas não degradadas, recuperação daquelas que estão em processo de degradação e as já degradadas. Para tanto, foi relevante o estudo acerca das propriedades geoquímicas das águas subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga visando descobrir dentre outros, anomalias e similaridades das águas subterrâneas da BRU.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Procedimentos Gerais

Para alcançar os objetivos propostos neste projeto de pesquisa, foram realizados levantamento e estudo de bibliografia pertinente ao tema, trabalhos de campo e análises laboratoriais. Alguns dos procedimentos gerais estão listados abaixo:

1 – Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos na Biblioteca Central da UFSC e nas dependências da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Criciúma.

2 – Aquisição de fotografias aéreas, para fotointerpretação e elaboração de “overlays”, nos órgãos públicos, em nível estadual e federal, assim como nas secretarias das Prefeituras dos Municípios que fazem parte deste estudo.

3 – Trabalhos de campo: foram selecionados, inicialmente, trinta pontos de coleta de água. Os pontos de coleta, mesmo sendo de água subterrânea, são de quatro naturezas distintas: poços tubulares, ponteiras, poços escavados e fontes ou nascentes, que, mesmo estando em superfície, fornecem água subterrânea.

Dos poços tubulares obtiveram-se águas confinadas e semi-confinadas a cerca de oitenta metros de profundidade em rocha sedimentar paleozóica ou granítica. As ponteiras, freqüentemente, não ultrapassam quinze metros e captam água do lençol freático na planície costeira. Os poços escavados, diferentemente, apresentam-se espalhados por toda a BRU. E, por fim, as fontes, situadas nos terrenos mais elevados, são locais de exploração de água de aquífero fraturado, poroso e do freático.

Uma base de dados foi construída com os resultados obtidos em campo e em outras fontes, para que se pudesse compará-las e representá-las. A heterogeneidade do espaço da bacia fluvial e a intensidade das atividades humanas na BRU foram consideradas na busca da possível interface com águas subterrâneas e entendimento do atual quadro ambiental. O entendimento do uso e ocupação do solo, destacando as principais fontes de poluição, se fez necessário.

2.2 Procedimentos Específicos

Alguns procedimentos específicos seguem listados abaixo:

Fotointerpretação: para facilitar os trabalhos de campo e mapeamento da bacia, foram analisadas ortofotos, digitalizadas na escala 1:20.000, do ano de 2002, pertencentes ao SIECESC (Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina).

Levantamentos de campo: utilizou-se GPS (Global Position System) da marca Garmin, com 12 canais, para cadastro de poços e nascentes. Também se fez uso de máquina fotográfica digital, peagâmetro e condutivímetro. Dessa forma, o pH e a condutividade elétrica da água foram determinados no local de coleta.

Coleta de água: de acordo com Anderson (1958), no procedimento de aquisição dos dados, optou-se pela estratégia amostral intencional. Assim, as amostras foram escolhidas levando-se em consideração os diferentes sistemas aquíferos e as variadas litologias presentes na BRU. A amostragem foi discreta, com amostras isoladas espacialmente, montando-se uma malha amostral irregular. Foi efetuada somente uma campanha de coleta durante o mês de outubro de 2005, ocasião na qual foram coletadas oitenta e seis amostras de água. Dessas, somente trinta foram aprovadas, pois fecharam o balanço iônico, pelo LAQUA (Laboratório de Análises Químicas de Água) de Criciúma/SC. Foram escolhidas doze variáveis químicas, a saber, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, cloro, sulfatos, alumínio, cálcio, ferro, magnésio, manganês, potássio e sódio. Essas variáveis foram parâmetros necessários para aplicação do Software Qualigraf, que tratou diferentes classes de água, e para uma análise estatística multivariada.

As análises foram expressas em peso por volume ($\text{mg/l} = 1\text{g/m}^3$), conforme Clarke (1924, apud Harvey, 1982). A utilização dos resultados das coletas em mg/l é recomendada para as técnicas de estatística multivariada. Para confecção de diagramas ternários multivariados (Piper) e horizontais (Stiff) é necessária tabela de dados em que os teores de sais e metais estejam convertidos para miliequivalentes por litro (meq/l).

A proposta de miliequivalentes por litro foi feita por Palmer no ano de 1911 (apud Harvey, 1982) e é anterior à utilização de miligramas por litro, defendida por Clarke, no ano de 1924. Antes dessas apresentações numéricas mais usuais, empregava-se o miligrama por quilo (mg/kg). Esse expressa o peso da substância

dissolvida por milhão de partes do solvente, que ficou conhecido como “ppm”. Também podem ser expressos dados em miliequivalentes por quilograma (meq/kg = epm = equivalentes partes por milhão).

De acordo com Harvey (1982, p. 293), a conversão de dados expressos em mg/l para meq/l pode ser realizada, dividindo a concentração iônica em mg/l ou mg/kg, pela quantidade equivalente do íon abordado. A quantidade equivalente é o peso atômico, ou poliatômico no caso de íons moleculares, dividido pela valência do referido íon. O sistema internacional de nomenclaturas (SI) define, para estudos químicos de águas subterrâneas, o equivalente parte. Conforme proposto por Harvey (1982), segue exemplo de conversão da variável magnésio, do poço tubular 30 (PT-30-MF-UR) de mg/l para meq/l.

Conversão de 22.58 mg/l Mg⁺⁺ em meq/l
 Peso atômico do Magnésio: 24.312
 Valência: 2
 Quantidade Equivalente: $24.312/2 = 12.156$
 $22.58 \text{ mg/l Mg}^{++} = 22.58/12.156 = 1.858 \text{ meq/l}$

Os parâmetros físico-químicos plotados no Software Qualigraf foram analisados em diagramas ternários. De acordo com Harvey (1982), os diagramas multivariados juntam resultados de diferentes amostras de águas e permitem uma comparação direta de vários tipos genéticos de águas subterrâneas, ou permitem distinguir águas de diferentes intervalos aquíferos, profundidades ou idades.

Segundo Custodio & Llamas (1983a), quando a pesquisa contempla vários tipos de águas distribuídos em vários aquíferos, os diagramas bidimensionais de dispersão são indicados, assim como o diagrama triangular de Piper (Diagrama 1). Os diagramas trilineares são expressos em triângulos equiláteros e permitem a representação de cátions e ânions, simultaneamente. Os diagramas horizontais (Stiff) dão uma idéia rápida das características químicas e dos diferentes tipos de água, pois se adaptam bem a planos.

Conforme Custodio & Llamas (1983a), o diagrama de Piper é ideal para representar três componentes, cada qual num dos vértices de um triângulo equilátero. Quando se representam íons, esses devem ser expressos em meq% e cada vértice corresponde a 100% de um ânion ou de um cátion. É mais comum representar os seguintes ânions, HCO₃⁻, Cl⁻ e SO₄⁻, e os seguintes cátions, Na⁺ + K⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺. Nesse diagrama, utilizam-se triângulos separados para representar os ânions e os cátions colocados de diferentes formas e com um campo central

romboedral, onde se representa um ponto, deduzido da soma dos íons. De acordo com Harvey (1982), nesses diagramas podem ser representadas muitas análises e as águas, geoquimicamente similares, ficam agrupadas em áreas bem definidas.

Ainda de acordo com Harvey (op.cit.), no diagrama de Stiff, os valores obtidos nas análises são plotados ao longo de eixos horizontais, geralmente três ou quatro, separados por iguais distâncias e divididos por uma linha vertical central. Os cátions são representados no lado esquerdo e ânions no direito. A união dos pontos produz um polígono característico para cada tipo de água.

Conforme Custodio & Llamas (1983a, p. 1041), esse diagrama “(...) consiste em tomar, sobre semi-retas convergentes ou paralelas, segmentos proporcionais a cada íon e unir os extremos resultando, assim, num polígono”. A forma da figura resultante dá idéia do tipo de água, proporcionando comparações, e sendo útil na confecção de mapa hidroquímico. Ainda, de acordo com Custodio & Llamas (op. cit), é indicado para águas subterrâneas normais, não para águas salobras ou destiladas, pois podem apresentar distorções de escala, dificultando a visualização.

Qualquer estudo hidroquímico necessita de variadas formas de visualização dos dados. De acordo com Custodio & Llamas (1983a), a comparação de análises é de grande utilidade. Além dos diagramas ternários e horizontais, os de escalas verticais logarítmicas de Schoeller são utilizados. Neles, as escalas verticais são logarítmicas, com valores brutos, sem necessidade de conversão dos índices das amostras. Podem ser representadas, no mesmo diagrama, águas com poucos sólidos totais dissolvidos e águas onde ocorrem altas concentrações, possibilitando comparação direta entre variáveis e casos. No entanto, as diferenças de concentração ficam pouco acentuadas.

Para verificação das semelhanças de alguns pontos de coleta e as variáveis químicas mais influentes nos mesmos, utilizaram-se técnicas estatísticas multivariadas, análise de agrupamento e análise de componentes principais (ACP). As técnicas apresentaram resultados similares e complementares, o que facilitou no entendimento da carga metálica ou salina que cada poço, ponteira ou fonte possui em suas águas.

Uma das técnicas estatísticas, a Técnica de Ordenação (ACP), constitui-se numa simples estrutura de correlações sem hipótese *a priori* a ser testada. Nela consegue-se obter informações sem se postular causalidades, resultando em um

conjunto de medidas correlacionadas linearmente. No *software MVSP (Multi-Variate Statistical Package)*, fornecido pela *Kovach Computing Services*, foi possível aplicar a técnica de ACP e verificar a qualidade de representação de uma variável através de gráficos *euclidianos*. Uma restrição metodológica da ACP é o índice *vector scaling* (escala do vetor) que, de acordo com Anderson (1958), preferencialmente, por indicar um resíduo, não é adequado estar acima do número adimensional dois, pois dificulta a visualização do gráfico e a sobreposição de eixos das variáveis torna redundante algumas interpretações.

Outra técnica estatística, a Análise de Agrupamento, foi utilizada para identificar similaridades entre casos e variáveis. Ela reuniu os dados de coleta de água em grupos discretos, relativamente homogêneos, com o intuito de diagnosticar descontinuidades ou anomalias geoquímicas em comparação com outros grupos. O resultado foi expresso na forma de dendrograma. A estratégia de agrupamento que foi usada é a da variância mínima (Ward), altamente eficiente na formação de grupos. Conforme Anderson (1958), a Análise de Agrupamento define agrupamentos de casos e variáveis, com base na medida de similaridade de seus valores descritores. A similaridade é definida através dos coeficientes de distância ou de relação.

Como pré-processamento das variáveis, foram elaborados histogramas no *software Statistica*, com o objetivo de verificar a normalidade da seqüência de variáveis químicas. Em pesquisa científica, de acordo com Anderson (1958), geralmente se adota um nível de significância de 0,05 ($p > 0,05$). Isso quer dizer que existem cinco chances em cem de se rejeitar erroneamente a hipótese de nulidade. Através do resultado de “W”, proposto por Shapiro-Wilk, foi constatada a possível normal de cada variável química para os trinta casos do estudo. Segundo Anderson (1958), o valor “W” baseia-se na máxima diferença entre a distribuição acumulada da amostra e a distribuição acumulada esperada. Como complemento, foi realizado o teste de aderência do *Chi quadrado* para todas as doze variáveis, evitando-se a possibilidade de uma falsa normalidade. As variáveis foram padronizadas pelos *softwares Excel e MVSP*, e, após esta etapa, transformadas em log-10, seno, arco-seno e raiz.

Para análise, tabulação dos dados e parâmetros físico-químicos, buscou-se comparação com outras bibliografias e o seu produto final sobre a mesma área de estudo. Desejou-se demonstrar as diferenças encontradas e se essas estão de

acordo com as hipóteses levantadas sobre a poluição agrícola e/ou industrial nas águas da BRU, atribuídas, noutro trabalho, majoritariamente à mineração carbonífera, conforme Veado (1989).

A etapa final em gabinete implicou na aplicação de técnicas cartográficas com os *softwares* Auto-Cad (Autodesk Map 2007) e *Surfer* para digitalização do mapa de localização dos pontos de coleta feitos com dados de campo.

Ao final, fez-se necessário comparar informações do mapa geológico (já existente) com os diagramas comparativos e classificadores das propriedades geoquímicas das águas conduzindo à formulação de mapa hidroquímico da BRU.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Com uma área de aproximadamente 1625 km², a Bacia Carbonífera do sul de Santa Catarina possui características litofaciológicas que muito se assemelham às formações sedimentares do sul da África e da Índia. Conforme Belolli et. al. (2002), dentro da referida bacia carbonífera, cerca de 490 km² estão diretamente impactados pela atividade mineira. Segundo Espinosa (2001), cerca de 1/5 da área total impactada está localizada dentro dos limites da Bacia do Rio Urussanga – BRU (Mapa 1), que, de acordo com Silva (1997), possui 580 km². Conforme Krebs (2004), a área afetada pela mineração em toda a bacia carbonífera comporta um montante de 58 milhões de m³ de rejeito piritoso, portanto, de passivo ambiental.

Na BRU, a rede de canais pertence à vertente atlântica. Seus afluentes estão alocados em vales estreitos e profundos na alta bacia e vales em “v” abertos na planície quaternária. Os afluentes da margem direita são mais longos, como os rios Ronco D’água, Linha Anta, Cocal, América, Galo, Carvão, Caeté e Deserto, se comparados aos rios da margem esquerda: Maior, Vargedo, Barro Vermelho e Areia. A maioria dos afluentes têm subafluentes de relevância no tocante ao volume de dejetos industriais que carregam. Essa bacia drena total ou parcialmente os municípios de Urussanga, Cocal do Sul, Criciúma, Içara, Morro da Fumaça, Treze de Maio, Pedras Grandes, Sangão e Jaguaruna (Mapa 1).

3.1 Geologia do sudeste catarinense

De forma convencional, os perfis geológicos da borda oriental da Bacia do Paraná são descritos conforme o ordenamento cronológico, partindo do embasamento ígneo ou metamórfico seguindo a disposição estratigráfica, formações rochosas gonduânicas, até contemplar os derrames básicos, os ácidos e nova sedimentação dispostos no topo desta bacia sedimentar. Dessa forma, a estratigrafia apresenta uma sucessão das rochas mais antigas até as mais recentes, com as lacunas existentes na área (Mapa 2).

É no contexto geológico da Bacia do Paraná que a BRU se insere, seus limites englobam os terrenos gonduânicos, parte do embasamento do Pré-Cambriano e depósitos sedimentares, como apresentado no mapa geológico (Mapa 2). Dessa forma, na tentativa de uma melhor compreensão de alguns aspectos

Mapa 1: Localização da Bacia do Rio Urussanga (BRU). Ver Mapas no volume I A.

geológicos da área de interesse, serão apresentadas descrições e seções com as características da Bacia do Paraná e da coluna geológica do Gondwana (Coluna White).

3.1.1 Bacia do Paraná

Segundo Medri et al. (2002), a Bacia do Paraná é parte da crosta, continental compreendendo rochas sedimentares e vulcânicas de idades que vão do Ordoviciano ao Cretáceo. Conforme Castro (1994), ela é classificada como intracratônica, com espessuras variáveis entre 5000 metros e 6000 metros, no centro geométrico da bacia, aproximadamente coincidente com a disposição do eixo do rio Paraná.

Segundo Castro (1994), a área de abrangência da bacia é de aproximadamente 1.700.000 km², estando 1.100.000 km² dispostos em território brasileiro. Dessa área no território nacional, cerca de 2/3 apresenta cobertura de rochas vulcânicas provenientes de sucessivos derrames de lavas básicas e ácidas. O outro terço é representado por um cinturão de afloramento de rochas abaixo do capeamento das vulcânicas. Nesse cinturão, observam-se os estratos sedimentares que preencheram essa bacia.

De acordo com Medri et al. (2002), a natureza das litologias que compõem a seqüência estratigráfica na bacia, denota uma superposição de, no mínimo, três bacias que tiveram seus limites mudados com as movimentações tectônicas que favoreceram o estabelecimento do supercontinente Gondwana. Esse dinamismo tectônico proporcionou limites variáveis à bacia nas diferentes eras geológicas, não sendo a disposição atual reflexo dos contornos da bacia no passado. Zalán et al. (1986) reforçam que essa afirmação pode ser comprovada com estudos das feições estruturais e estratigráficas, realizados com experimentos geofísicos e perfurações.

As camadas sedimentares são testemunhos de variados ambientes deposicionais, guardando informações paleogeográficas. Esses acamadamentos sucessivos distribuem-se cronologicamente desde o siluro-ordoviciano até o evento magmático da seqüência juro-cretácea. Os eventos tectônicos que soergueram a parte leste da bacia, os arcos de soerguimento, influenciaram a borda oriental da

mesma, evidenciada pelas falhas no sudeste do Estado de Santa Catarina, área de inserção da BRU.

O embasamento da Bacia do Paraná, sobre o qual estão assentadas as rochas sedimentares, é constituído por litologias de rochas cristalinas que compunham na área, a parte do escudo do supercontinente Gondwana. O embasamento aflorante nas bordas da bacia, especificamente no Estado de Santa Catarina, subdivide-se em blocos distintos, com idades que vão do Arqueano ao Proterozóico Inferior. O bloco com rochas do Complexo Tabuleiro está situado no norte e no nordeste da BRU e faz parte de seu embasamento. Esse, por sua vez, é constituído principalmente por granitos róseos.

3.1.1.1 Estratigrafia da Bacia: Coluna *White*

Na porção sudeste do Estado de Santa Catarina, justamente na borda oriental do Planalto Sul Brasileiro, a escarpa da Serra Geral proporciona a observação de excepcional pacote sedimentar com mais de 600m de espessura. Israel C. White, o geólogo estadunidense, que em 1904, iniciou os trabalhos pioneiros na área, tem seu nome aplicado à coluna estratigráfica sedimentar que estudou. Nela, todas as unidades sedimentares litológicas têm sua formalidade cumprida segundo o Código Estratigráfico e, assim, estão reunidas em Grupos e esses subdivididos em Formações, e essas, em alguns casos, em Membros (Figura 1). Os nomes dos Grupos, Formações e Membros condizem com localidades, acidentes geográficos e outros elementos paisagísticos-culturais dos lugares descritos em campo. Aos estudados por White, na Serra do 12 (Serra do Rio do Rasto ou Estrada Nova), foram acrescentados outros situados em outros estados.

As principais formações estratigráficas propostas na Coluna White para o sudeste catarinense são identificadas na Bacia do Rio Urussanga (BRU). Percebem-se, além das diferenças litológicas, variações estruturais, principalmente relacionadas às falhas que condicionam, possivelmente, basculamento de blocos. De acordo com Rocha (1997), nas bordas leste e oeste de parte da Bacia do Paraná, faixas alongadas do pacote sedimentar afloram à superfície. Essas rochas sedimentares são o substrato de algumas das nascentes de rios da BRU, principalmente de afluentes da margem direita. Na referida bacia, existem intrusões

de diques de diabásio, cortando os estratos de rochas sedimentares e *sills*, também de diabásio, nelas intercalados.

PERÍODOS	COLUNA GEOLÓGICA (Coluna White)		
	GRUPOS	FORMAÇÕES	MEMBROS
JURO / CRETÁCEO 180 - 120 MA	SÃO BENTO	SERRA GERAL	
		BOTUCATU	
PERMIANO SUPERIOR 250- 225 MA	PASSA DOIS	Discordância (hiato na deposição)	
		RIO DO RASTO	MORRO PELADO
			SERRINHA
		TERESINA	
		SERRA ALTA	
	IRATI	ASSISTÊNCIA	
		TAQUARAL	
	GUATÁ	PALERMO	
		RIO BONITO	
PARAGUAÇÚ			
TRIUNFO			
ITARARÉ	RIO DO SUL		
PE > 600 MA	Discordância		
	EMBASAMENTO PRÉ-GONDUÂNICO		

OBS.: 1) Unidades presentes na estrada do Rio do Rasto.

2) 120 M.A., etc... = 120 milhões de anos, etc...

3) PE = Pré-Cambriano. Idades superiores a 600 milhões de anos.

Figura 1: Coluna litoestratigráfica para o sudeste catarinense proposta por Schneider et. al. (1974) a partir dos levantamentos de White, concluídos em 1908.

Fonte: (Castro, 1994).

De acordo com Schneider et al. (1974, apud Medri, et al., 2002) a Formação Rio do Sul representa a parte superior do Grupo Itararé e possui espessura média de 350 metros. Segundo Scheibe (1986), esta Formação aflora do Rio Grande do Sul ao Paraná, com depósitos marinhos influenciados pela dinâmica glacial, onde se encontram argilitos, diamictitos, ritmitos, varvitos e arenitos finos. A coloração predominante é a cinza escura. Ainda conforme Scheibe (1986), esta formação assenta-se diretamente sobre o embasamento cristalino da Bacia do Paraná no sudeste catarinense. É evidente nesta formação a ocorrência de seixos

dentre os varvitos, e a explicação é que seriam pingados dos blocos de gelo flutuantes.

O Grupo Guatá comporta a Formação Rio Bonito, que possui grande distribuição em toda a região carbonífera, constituindo a unidade geológica mais importante quanto à oferta de água subterrânea. Conforme Krebs (2004), o terço superior dessa formação (Membro Siderópolis), possui espessos estratos de arenitos que se intercalam com folhelhos carbonosos e carvões, possuindo assim, múltiplos aquíferos, relacionados aos diferentes intervalos litológicos.

De uma maneira genérica, segundo Monteggia & Leão (1983), o Membro Siderópolis apresenta seqüência formada de arenitos com granulação média, quartzosos, de cor amarela clara, moderadamente classificados, bastante porosos e permeáveis. O ambiente de formação desses arenitos foi praiial, de águas calmas – areias transgressivas. Essa natureza de litotipo arenoso permeável confere ao Membro Siderópolis boa potencialidade como aquífero. Naturalmente essas águas são um pouco ácidas, sendo recomendável seu uso apenas para algumas finalidades industriais.

Conforme Scheibe (1986), a Formação Palermo aflora em toda a faixa sudeste de Santa Catarina não ultrapassando os 90 metros de espessura. Constitui-se de siltitos e siltitos arenosos de origem marinha e apresentam estruturas bioturbadas. De acordo com Castro (1994), a Formação Palermo é eminentemente pelítica, com ambiente de deposição relacionado à plataforma marinha rasa, e fruto da transgressão marinha que recobriu a Formação Rio Bonito. O contato entre essas duas formações é concordante, porém abrupto, tornando evidente a diferenciação da Formação Palermo pela interlaminação de silte e areia fina com marca de ondulação *flaser*.

Segundo Petri & Fúlfaro (1983), o ambiente de deposição da Formação Irati é marinho de águas calmas, abaixo da influência das ondas. A sedimentação deve ter ocorrido em bacias confinadas, em clima propício para precipitação de calcários e acumulação de matéria orgânica para formação de pirobetumes. De acordo com Castro (1994), a Formação Irati é um bom nível estratigráfico guia da Coluna White, uma vez que as litologias são de fácil identificação em campo, pois predominam folhelhos pretos, geralmente betuminosos, concreções de sílex, expressivas camadas calcáreas e presença de fósseis. Essa Formação é a base do Grupo Passa Dois e subdivide-se em dois Membros: Taquaral e Assistência.

3.2 Domínios Morfológicos

A Bacia do Rio Urussanga (BRU), como já comentado, está compreendida dentro de três domínios geológicos principais, que são condicionantes do relevo da área. O embasamento cristalino e a cobertura sedimentar gonduânica afloram em maior área. Em menor escala, há os depósitos fluviais e costeiros. Cabe salientar que também afloram rochas básicas, como o *Sill* do Montanhão, que aflora na borda oeste da bacia (Mapa 2).

Os processos morfogenéticos incidentes na paisagem geográfica da BRU são influenciados pela geologia da área. Os terrenos pré-cambrianos caracterizam a Unidade Geomorfológica Serras do Leste Catarinense em morraria. Outra unidade encontrada é a das Rochas Sedimentares, onde, sobre arenitos e siltitos, predominam colinas, vales abertos e elevada densidade de canais estritamente condicionados pela estrutura.

Silva (1997) utilizou a nomenclatura de Unidade Geomorfológica da Zona Carbonífera Catarinense para se referir à Unidade Geomorfológica das Rochas Sedimentares. Na BRU há, também, a Planície Quaternária, dividida em Planície de Cristas Praiais com Dunas, Planície Lacustre e Planície Fluvial, que compreendem modelados de acumulação, reunindo depósitos de ambiente marinho, aluvionar, lacustre e eólico.

As formas de relevo da BRU são correlacionadas à estrutura e às litologias. As morfologias, das cabeceiras até a foz do Rio Urussanga, apresentam-se, na margem direita, como *Sill* do Montanhão, Unidade das Rochas Sedimentares, Planície Fluvial, Planície Lacustre e Planície de Cristas Praiais com Dunas. Na margem esquerda do mesmo rio, encontra-se a unidade morfológica Serras do Leste Catarinense, a Planície Fluvial, Planície Lacustre e a de Cristas Praiais com Dunas (Mapa 3).

De acordo com Rosa (IBGE, apud Silva, 1997), há uma divisão taxonômica de relevo para Santa Catarina, que também se adéqua especificamente à área da BRU, como no Quadro 1:

Quadro 1: Divisão taxonômica do relevo para a BRU

DOMÍNIO MORFOESTRUTURAL			
	UNIDADES GEOMORFÓLOGICAS		
		MODELADOS	
Embasamento Cristalino	Serras do Leste	Dissecação (D)	DO (outeiro)
	Catarinense		DC (colina)
Cobertura Sedimentar Gonduânica	Depressão	Dissecação (D)	DO (outeiro)
	Zona Carbonífera		DC (colina)
	Catarinense	Acumulação (A)	Atf (terraço fluvial)
Cobertura Sedimentar pós-Gondwana	Zona	Acumulação (A)	Af (acumulação fluvial)
	Costeira		Ae (acumulação eólica)
			Al (acumulação lacustre)
			Acp (acumulação cristas praias)
			H (Antrópica)

Fonte: Silva (1997, adaptado por Rosa, 1991) modificado por W. Sant'Ana.

Cabe salientar que a nomenclatura inicial de Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas foi proposta pelo Projeto Radambrasil em escala 1:1.000.000 e os demais autores adequaram à sua área de estudo. Neste trabalho, como observado, implementaram-se modificações e acréscimos à proposta inicial do Radambrasil.

O modelado do relevo denota a ação de vários processos na evolução do mesmo. Há a ação dos processos químicos e físicos do intemperismo sobre vários tipos de rochas, que são mais frágeis ou mais resistentes a eles. Após há a ação daqueles processos erosivos e deposicionais. Esses geram formas pela acumulação sedimentar em vários ambientes. Há que se registrar o papel paralelo das estruturas

geológicas que também facilitam ou dificultam a ação dos agentes do intemperismo. Na esculturação do relevo, um papel de destaque deve se dar às águas sejam elas de chuva, de rios, águas subterrâneas e a umidade do ar.

3.2.1 Modelado de dissecação

Caracteriza-se por formas elaboradas sobre o embasamento cristalino e sedimentar, gerando elevações com cerca de 400 metros de altitude nas cabeceiras da margem esquerda da BRU, e de 500 metros na margem direita. No modelado de dissecação dessa bacia, pode se citar as Serras do Leste Catarinense, o *Sill* do Montanhão e, por último, setores colinosos das formações características do Gondwana, ou Unidade das Rochas Sedimentares.

3.2.1.1 Serras do Leste Catarinense

Descrita inicialmente pelo Projeto Radambrasil, essa unidade reúne elevações sub-paralelas com orientações noroeste-sudeste (NW-SE) verificadas na BRU. É característica dessa unidade os vales geralmente encaixados, a exemplo do Rio da Areia e do Rio Vargedo, situados na margem esquerda do Rio Urussanga (Mapa 1). A erosão nesses locais, preferencialmente atuante ao longo das falhas desses terrenos cristalinos, condiciona uma morfologia própria, visto que o granito ali possui falhas importantes (Mapa 2).

As elevações são típicas de morraria, estando as cabeceiras do Rio da Areia e do Rio Vargedo (Mapa 1) posicionadas em cotas com cerca de 400 metros. No fundo desses vales, existe acumulação de matacões e disposição de depósitos arenosos, com granulometria grossa, situados linearmente aos rios, cujos sedimentos são muitas vezes retirados e utilizados na construção civil.

No caminho que faz a ligação entre a comunidade do Rio Vargedo (Mapa 1) e a sede do Município de Treze de Maio, é perceptível que a pecuária se tornou um agente morfológico. O demasiado pisoteio dos bovinos proporcionou o aparecimento de sulcos no terreno, com algumas ravinas. Nesses locais, a atividade agrícola é limitada, devido à pedregosidade e pouca espessura do solo.

No centro da bacia, nos entornos das sedes dos Municípios de Morro da Fumaça e Urussanga (Mapa 2), há importante bloco granítico cortado por falhas,

muitas preenchidas por fluorita, assim justificando a atividade econômica de extração desse minério, que se faz presente na área. Também na comunidade de Esplanada, no Município de Içara (Mapa 1), situada às margens da BR-101, o modelado granítico de dissecação condiciona um relevo colinoso (Mapa 3). As diferenças das cotas topográficas das morfologias esculpidas sobre o granito permitem caracterizar essa unidade em dois modelados distintos, morraria e colinoso (Foto 1).



Foto 1: Modelado de morraria (seta vermelha) no Município de Treze de Maio. A planície aluvial, do pequeno afluente da margem esquerda do Rio Urussanga, foi aproveitada para rizicultura.

De acordo com Silva (1997), o modelado de morraria possui vales encaixados, elevações com encostas côncavo-convexas e cotas perceptivelmente mais elevadas que o colinoso. Nesse último modelado, enquadram-se as áreas da BRU, situadas na margem esquerda do rio principal. Também se acrescentaria o bloco granítico residual, localizado no centro da bacia, coincidente com as sedes dos municípios de Morro da Fumaça e Urussanga, como já citado.

O modelado colinoso, com vales mais abertos e amplitudes altimétricas menores (mais ou menos 100 metros), ocorre nos entornos da localidade de Esplanada, estabelecida, parcialmente, sobre granito. Cabe ressaltar que existe outra porção da BRU que se enquadra dentro do modelado de dissecação, mesmo não tendo o substrato constituído por embasamento granítico. Trata-se do *Sill* do Montanhão.

3.2.1.2 *Sill* do Montanhão

A área a oeste da localidade de Belvedere, Urussanga (Mapa 1), no noroeste da bacia, compreende as cabeceiras dos rios Caeté, Salto, Cocal e do Rio Carvão, principal formador do Rio Urussanga (Foto 2). A elevada cota desse setor (mais ou menos 500 metros) foi preponderante para a localidade ficar conhecida como “Montanhão”. Essa área geologicamente constitui-se em um *sill* de diabásio, hoje aflorante pela dissecação das camadas que o recobriam.

É uma descontinuidade rochosa associada à dissecação promovida por alguns afluentes de bacias hidrográficas adjacentes, como a do rio Araranguá (ao sul) e a do rio Tubarão (ao norte do Montanhão). O afluente rio Fiorita, da Bacia do rio Araranguá, diseca o “Montanhão” na sua vertente noroeste. Já, o afluente rio Bonito, da Bacia do Rio Tubarão, o diseca na vertente norte. As faces sudeste e leste são rebaixadas pelos rios da BRU.



Foto 2: No topo da foto, morfologia tabular do Montanhão que, somada à topografia mais elevada da área, favorece a realimentação das águas subterrâneas e dos vários rios.

3.2.1.3 Unidade das Rochas Sedimentares

De acordo com Silva (1997), a denominada Depressão da Zona Carbonífera Catarinense, principal Unidade Geomorfológica da BRU, caracteriza-se por um relevo colinoso, com padrão dendrítico de drenagem. Essa Unidade Geomorfológica foi, neste estudo, chamada de Unidade das Rochas Sedimentares coincidindo com os terrenos de rochas gonduânicas. A unidade ocupa a metade

oeste da BRU, compreendendo parte do Município de Criciúma e os de Cocal do Sul e Urussanga (Mapa 3). As encostas são preferencialmente côncavo-convexas e os vales abertos.

As rochas esculpidas são de natureza arenosa, siltosa e folhelhos das Formações Rio do Sul, Bonito e Palermo. As altitudes são menos expressivas que a Unidade Serras do Leste Catarinense e do *Sill* do Montanhão. No entanto, essas rochas enquadram-se, assim como as outras, no modelado de dissecação. Cabe salientar que a rede fluvial apresenta-se com padrão dendrítico (rios América, Linha Anta, Ronco D'água) e outros canais foram retelinizados, como o médio curso do Rio Urussanga (Mapa 3).

Na Unidade das Rochas Sedimentares é notória, também, a presença de diques de diabásio, preferencialmente na direção noroeste-sudeste (NW-SE), coincidentes com o alinhamento preferencial que a BRU possui. No Município de Urussanga, um dique de diabásio está sendo minerado para obtenção de brita. Salienta-se que esse dique com orientação NW-SE possui altitude média de 300 metros e comprimento de 3,5 km, sendo fácil sua observação em campo, devido à erosão diferencial. Essa litologia é mais resistente que as rochas sedimentares encaixantes (Foto 3).

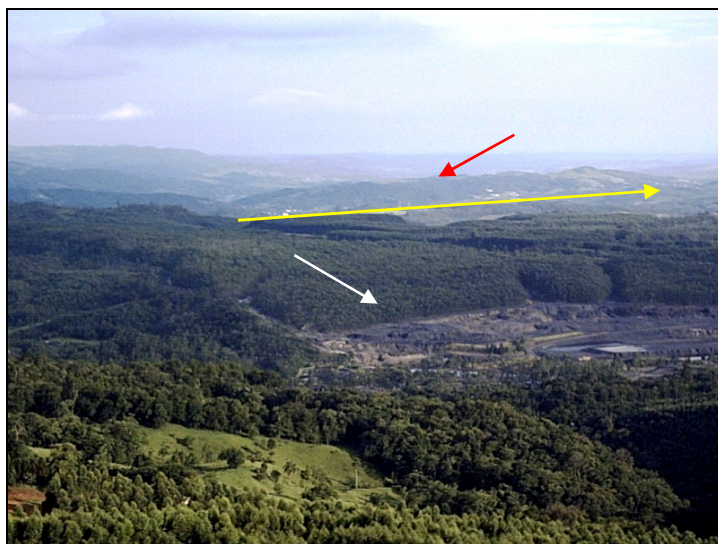


Foto 3: Foto tirada no Montanhão no sentido leste. A seta branca aponta para a Unidade de Rochas Sedimentares, neste caso, com substrato da Formação Rio Bonito, parte revegetado com eucaliptos, outra parte contendo rejeito carbonoso exposto. Ao fundo, a seta vermelha indica o dique NW-SE referido no texto acima e que está acompanhado longitudinalmente pela seta amarela.

3.2.2 Modelado de acumulação

Esse modelado caracteriza-se pela acumulação de materiais inconsolidados, em sua maioria, de natureza argilosa, siltosa e arenosa. Em menor proporção, encontram-se matacões, principalmente nas cabeceiras dos rios da margem esquerda da BRU, esses mais associados à erosão do que à acumulação. Esse modelado ocupa os terrenos marginais do baixo curso do Rio Urussanga e áreas fluviais e costeiras de natureza areno-quartzosa.

3.2.2.1 Planície de Cristas Praiais com Dunas e Planície Fluvial

O modelado da Planície de Cristas Praiais com Dunas (Mapa 3) possui a sinonímia de Laguna Barreira, proposta por Krebs (2004), e é, preferencialmente, condicionado por oscilações de regressão e transgressão marinhas, ou seja, de constituição preferencialmente arenosa, resultantes dos processos da dinâmica costeira: marinha, praial e eólica.

A Planície Fluvial (Mapa 3), chamada por Veado (1989) de Geofácia da Baixada Fluvial, compreende terrenos de acumulação de materiais preferencialmente siltico-argilosos, como nos arredores das comunidades de Santa Apolônia (Morro da Fumaça) e Esperança (Içara). Nessa área, o terreno plano e comumente encharcado foi drenado através da retificação do Rio Urussanga. A qualidade e a quantidade de material argiloso servem de matéria-prima para o estabelecimento de indústrias produtoras de cerâmica vermelha. As olarias são o componente de impacto antrópico mais nítido no Município de Morro da Fumaça, sobre esta planície.

Pequenas planícies aluvionares ocorrem na margem direita do Rio Urussanga, ao longo dos afluentes Linha Anta e Ronco D'Água e integram-se à grande planície fluvial. Esses depósitos são característicos de terrenos planos, marginais aos rios e que ocupam pequena expressão espacial na BRU. A Planície Lacustre (Foto 4) ocorre associada às lagoas litorâneas, e por sua vez associadas longitudinalmente à Planície de Cristas Praiais com Dunas.



Foto 4: Foto da Planície Lacustre, com a Lagoa do Faxinal ao fundo.

A Planície Fluvial ao longo do baixo curso do rio Urussanga, bem como a Planície de Cristas Praiais com Dunas, são modelados típicos de acumulação. Elas se estendem acompanhando a antiga e atual linha de costa.

3.3 Aspectos Hidrológicos da Bacia do Rio Urussanga (BRU)

O substrato rochoso da BRU condiciona dois aquíferos principais. Os granitos da Unidade Geomorfológica Serras do Leste Catarinense constituem o aquífero de meio fraturado, a exemplo do que acontece também no popular Montanhão. Nos domínios gonduânicos, merecem destaque os aquíferos porosos, constituídos, principalmente, pelos arenitos da Formação Rio Bonito. Sob o capeamento superficial do solo, independentemente das litologias, é encontrado, em diferentes profundidades, o lençol freático. Na faixa mais próxima à linha de costa, a cunha salina, sob o lençol freático, traz o risco de salinização deste se houver superexploração.

A elevada quantidade de diáclases e falhas, bem como os lineamentos dos contatos litológicos, ou patamares litológicos, facilitam a infiltração de águas superficiais para as diferentes formações aquíferas. Nos modelados de acumulação, a permanência d'água em topografias côncavas ou aplainadas é alimentadora do freático, salvo a Planície Fluvial e a Lacustre, que possuem naturezas argilosas, sendo más transmissoras de água.

A zona de recarga direta, ou afloramento dos aquíferos, é considerada área muito frágil à contaminação, onde o risco de impacto ambiental às águas subterrâneas é iminente. Na zona de recarga, a água se infiltra facilmente, podendo levar consigo carga poluente, devido à ausência de barreiras, como solos de baixa permeabilidade ou rochas consolidadas sem fraturas, no embasamento por exemplo.

De acordo com Veado (1989), os canais fluviais da bacia foram fortemente impactados, estando comprometidos sobremaneira, devido à exploração do carvão mineral. São preocupantes os diagnósticos que comprovam uma íntima relação entre a água superficial e a qualidade das águas subterrâneas. Todavia, conforme Monteggia e Leão (1983), dentro da BRU, no Município de Criciúma, o pH da água do aquífero poroso Rio Bonito é maior que o pH da água superficial sotoposta, mesmo quando próximas. O comum são as águas subterrâneas terem um pH mais baixo que as águas superficiais. Segundo Gothe (1989), as águas poluídas dos rios apresentam pH muito baixo, como 2, 3 ou 4.

Ao se observar as morfologias dos terrenos da BRU, nas grandes áreas que foram mineradas a céu aberto na margem direita do Rio Urussanga, bem como os efluentes ácidos de minas, consequência da mineração em galerias, acredita-se que os recursos hídricos subterrâneos possam ter sofrido alteração qualitativa, principalmente quando se analisa, conjuntamente, questões como efluentes urbanos, efluentes industriais e uso de agroquímicos.

Levando-se em consideração a natureza dos diferentes aquíferos, a ser analisada adiante, dos diferentes empregos dados a essas águas, e dos possíveis focos de comprometimento qualitativo, quaisquer estudos de águas subterrâneas dentro da BRU devem contemplar, especialmente, as particularidades componentes de cada área da bacia.

São por esses motivos que as zonas de recarga direta dos aquíferos, bem como as atividades econômicas praticadas sobre elas, devem ser compreendidas dentro de uma ótica em que os riscos sejam avaliados para evitar-se a contaminação das águas subterrâneas pelas diferentes atividades industriais, agro-pastoris ou efluentes urbanos não industriais.

3.3.1 Características climáticas da Bacia do Rio Urussanga (BRU)

O regime fluvial de uma bacia e todo o ciclo hidrológico estão diretamente relacionados ao clima e seus fatores. No sul catarinense predomina clima de latitudes subtropicais. Conforme Sônego (2002, p. 102)

O sul de Santa Catarina apresenta clima quente no verão e ameno no inverno, com chuvas bem distribuídas durante o ano. O clima é Subtropical Úmido com Verão Quente, pelo sistema de Koeppen, recebendo a simbologia Cfa. A temperatura média anual varia de 17 a 20°C, com a temperatura média das máximas variando de 23 a 27°C, e a média das mínimas variando de 13 a 17°C. A altitude e a sua distância com o Oceano Atlântico são os fatores que determinam essas variações espaciais de temperatura, já que existe pouca variação de latitude dentro da região.

Ainda de acordo com Sônego (2002), a região sul catarinense está sujeita a geadas do final de maio ao início de agosto, cuja frequência pode variar de 3 geadas a cada dez anos na zona costeira sul catarinense, a 1,1 por ano no interior da área. Na estação experimental de Orleans, município próximo à BRU, a menor temperatura já registrada foi de -5,8 °C em agosto de 1955, e a maior foi de 44,6°C em janeiro de 1963. Entre 1961 e 1990, a estação da EPAGRI no município de Urussanga realizou estudo no intuito de classificar o clima do sul catarinense. As médias apresentadas no Quadro 2 e no Gráfico 1 são provenientes daquele estudo.

Quadro 2: Normais climáticas da Bacia do Rio Urussanga

Estação Meteorológica de Urussanga (1961-1990)						(28°31'S; 49°19'W; 48m)			
Mês	Temperatura média	Temperatura média das máximas	Temperatura média das mínimas	Temperatura máxima absoluta	Temperatura mínima absoluta	Precipitação total	Precipitação máxima em 24 horas	Dias de chuva	Umidade relativa do ar
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)		(%)
Jan	23,9	30,7	18,6	41,0	10,4	188	88	15	78
Fev	24,1	30,7	18,9	40,7	10,1	211	241	14	80
Mar	22,8	29,4	17,7	39,2	6,0	170	109	14	81
Abr	20,0	26,9	14,7	37,0	4,4	99	57	10	81
Mai	16,8	24,9	11,4	33,6	-1,0	92	84	9	82
Jun	14,6	22,5	9,2	33,0	-2,6	82	108	9	83
Jul	14,7	22,6	9,1	34,4	-4,3	106	116	10	82
Ago	15,8	23,0	10,1	38,2	-3,0	127	128	10	80
Set	17,1	24,0	11,9	39,3	-1,4	129	71	12	79
Out	19,2	25,7	13,6	39,5	2,8	133	98	13	77
Nov	21,1	28,0	15,6	41,0	5,2	128	84	12	77
Dez	22,8	29,6	17,3	41,7	6,5	159	103	14	76
ANO	19,4	26,5	14,0	41,7	-4,3	1624	241	81	80

Fonte: Dr. Márcio Sônego, EPAGRI, 2008.

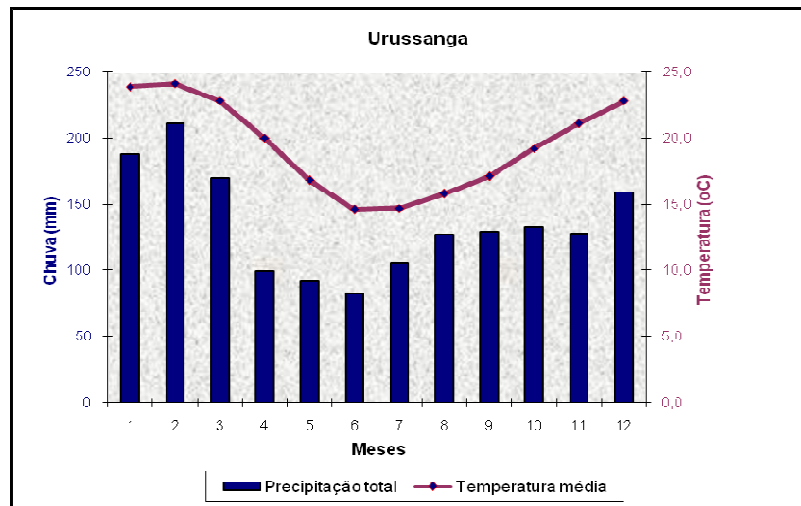


Gráfico 1: Normais de precipitação e temperatura entre os anos de 1961 e 1990 em Urussanga.
Fonte: Dr. Márcio Sônego, EPAGRI, 2008.

Segundo Nimer (1989), a classificação climática do sul catarinense é influenciada pela atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), Massa Polar Atlântica (mPa), com origens em diferentes centros de ação, e, também, por fatores dinâmicos como correntes perturbadas. Os ventos são predominantemente de nordeste. Entretanto, aqueles de rajadas intensas, provêm de sul. Conforme Sônego (2002, p. 102),

A velocidade média do vento é maior nos meses de primavera. Ventos extremos, com velocidade acima de 72km/h, podem ocorrer em qualquer mês do ano, variando de sudoeste (SW), na passagem de frentes frias, a noroeste (NW), na passagem de linhas de instabilidade.

Ainda segundo Sônego (2002), a umidade relativa margeia 80% e a insolação média anual varia entre 2000 e 2200 horas anuais. Na BRU, os fluxos de ar são condicionados pelas sucessivas trajetórias das massas polares nos meses mais frios do ano. De acordo com Monteiro & Furtado (1996), a própria espacialidade dos anticiclones, que oscilam de posição no decorrer do ano, insere o sul catarinense em uma condição temporal tropical no verão e temperada no inverno.

Na BRU, as nascentes dos rios, as mais distantes da foz, estão localizadas a poucos quilômetros da escarpa do Planalto Meridional Brasileiro e estão sujeitas a receber contribuição de chuvas orográficas. É perceptível a ocorrência de maior volume de chuvas nas cabeceiras da alta bacia da BRU, denotando a influência do *sill* do Montanhão e da vizinha escarpa da Serra Geral, na distribuição e formação de chuvas orográficas e, portanto, tendo efeito sobre os rios.

Dessa forma, o sul catarinense apresenta maior precipitação quando perto da Serra Geral, pois segundo Sônego (2002, p. 102)

(...) os maiores valores são observados nas encostas da Serra Geral, diferença esta causada pelas chuvas de verão que são mais freqüentes e intensas nas encostas da Serra Geral do que na orla. Isto se deve ao fato de que, ao encontrar a Serra Geral, o ar úmido é forçado a se elevar causando a formação de nuvens geradoras de temporais de final de tarde de verão.

É interessante ressaltar, que a precipitação influencia diretamente no estudo de água subterrânea, tendo em vista a dinâmica do ciclo hidrológico. Neste sentido, observou-se as condições temporais da segunda metade do ano de 2005, especificamente no mês de outubro, quando foi realizado o procedimento de coleta das amostras. Conforme o Quadro 3, os dados de chuva de 2005 foram:

Quadro 3: Chuvas no ano de 2005 na Bacia do Rio Urussanga. Estação Meteorológica de Urussanga.

Mês Ano 2005	Temperatura Média (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	24,4	94,8
Fevereiro	23,2	128,8
Março	23,1	182,5
Abril	20,8	67,4
Mai	17,8	119,1
Junho	17,9	52,2
Julho	14,8	74,4
Agosto	17,3	317,6
Setembro	16,3	163,1
Outubro	19,4	316,7
Novembro	21,4	140,2
Dezembro	22,2	111,5

Fonte: Dr. Márcio Sônego, EPAGRI, 2008.

É perceptível que choveu muito em agosto, setembro e outubro se comparado com as médias históricas para estes meses, que ficam em torno de 130 mm (Quadro 2). De acordo com a Estação Meteorológica de Urussanga, da Epagri (2008), com toda esta chuva, outubro de 2005 registrou apenas 89,4 horas de brilho solar, ou seja, a metade da normal (178 horas).

3.4 Setorização da Bacia do Rio Urussanga

De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), os usos dos recursos hídricos relacionam-se com a própria evolução do homem como ser social. A água e a energia hidráulica possibilitaram avanços às civilizações, facilitando seu processo de sedentarização e evolução agrícola.

Hoje, o demasiado incremento urbano, a esmagadora evolução da agricultura e a economia industrial, em pleno desenvolvimento no país, põem em risco a disponibilidade dos recursos hídricos. A interferência, que o homem promove sobre os sistemas aquosos, altera as condições naturais de fluxo, disponibilidade e qualidade das águas. Existe uma perspectiva sombria que é a possibilidade da falta de água na medida em que se aumenta o padrão de consumo e o número de consumidores.

Segundo Veado (1989) e Espinosa (2001), o Rio Urussanga percorre uma distância de cerca de 60 km. O gradiente pode ser considerado moderado, se comparado com as bacias fluviais adjacentes (Araranguá e Tubarão), com menor capacidade de transporte de sedimentos, salvo em episódios pluviais intensos, mas com algum poder erosivo no alto curso do rio principal e de seus afluentes capaz de deslocar matacões, blocos e seixos de granito, na margem esquerda e de diabásio, na margem direita do Rio Urussanga (Mapas 2, 3 e 4).

Para uma melhor compreensão das características paisagísticas da BRU, o ambiente fluvial da referida bacia, devido a sua dinâmica própria de erosão e deposição, foi particionado, nesta descrição, em dois setores distintos as cabeceiras dos rios (Alta Bacia) e as Planícies Fluvial e de Cristas Praiais com Dunas, onde se situa a foz do Rio Urussanga (Baixa Bacia).

3.4.1 Alta Bacia

O alto curso do Rio Urussanga e de seus afluentes principais é facilmente identificado em campo, pois é um setor em que a erosão é freqüente e os modelados são de dissecação. Naquela área, o rio principal tem leito fixo e com maior gradiente, sendo possivelmente maior também, a velocidade das águas.

Na BRU, o alto curso dos afluentes da margem esquerda se situa sobre litologia granítica, e os da margem direita sobre litologias de rocha ígnea básica e

principalmente sobre rochas sedimentares. O Rio Urussanga recebe mais afluentes pela sua margem direita e esses são mais longos que os da margem esquerda, pois essa bacia é assimétrica.

A assimetria da BRU é um condicionamento estrutural mais do que litológico. Uma falha regional com direção NW-SE direciona o leito do Rio Urussanga para próximo das litologias graníticas situadas no lado nordeste da bacia. Somente na planície flúvio-lacustre, o rio deixa de estar sob esse condicionamento, devido ao leito de fundo mole e obras de retificação, feitas para diminuir o efeito das inundações.

Nas cabeceiras, os rios são alimentados pelo aquífero fraturado de rocha ígnea hipoabissal básica (Montanhão) e do embasamento cristalino. Os rios que possuem nascentes sobre a litologia básica são: Carvão, Salto, América, Caeté, Cocal e Deserto. As cabeceiras dos rios Vargedo, Areia, Maior e Barro Vermelho assentam-se sobre granito. Por sua vez, os rios Galo, Barbosa, Ronco D'Água e Linha Anta nascem e percorrem terrenos de rochas sedimentares.

Toda a porção oeste da BRU apresenta, majoritariamente, rochas de formações sedimentares paleozóicas gonduânicas. A morfologia é condicionada pela estrutura e litologias determinando um modelado de pequenas colinas côncavo-convexas.

O relevo desses terrenos gonduânicos está dissecado por ação fluvial, em que a erosão retirou o antigo capeamento basáltico, exumando a gama de rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas que havia. A morfologia atual dos terrenos de origem gonduânica também é explicável levando-se em consideração que as diferentes formações se assentaram sobre rochas do embasamento cristalino que possuíam diferentes condicionamentos topográficos (Mapa 4).

A natureza argilosa, siltosa ou arenosa de cada seqüência estratigráfica, componente das formações geológicas, ou mesmo dos grupos, é o registro das variadas condições ambientais que se sucederam e permitiram ambientes de sedimentação, com grande acúmulo de matéria orgânica que veio a constituir o carvão mineral. Esses ambientes se estabeleceram ao longo do Período Permiano.

A principal atividade econômica desempenhada na Alta Bacia do Rio Urussanga é a extração do carvão mineral, feita, ou pelo método de exploração a céu aberto, ou por galerias subterrâneas. De acordo com Belolli et al. (2002, p. 59), durante um longo período dessa atividade, que é praticada há mais de noventa

anos, não eram adotadas medidas de preservação ambiental, o que fez com que os depósitos de rejeitos piritosos fossem alocados sobre morfologias convexas, muitas vezes paralelas aos canais fluviais (Figura 2).

Conforme Veado (1989), esse é o exemplo da comunidade de Santana, no Município de Urussanga (Figura 3). Lá, o carvão possui espessura máxima de 1,30 metros, o qual foi lavrado a céu aberto, deixando profundas marcas daquela atividade.

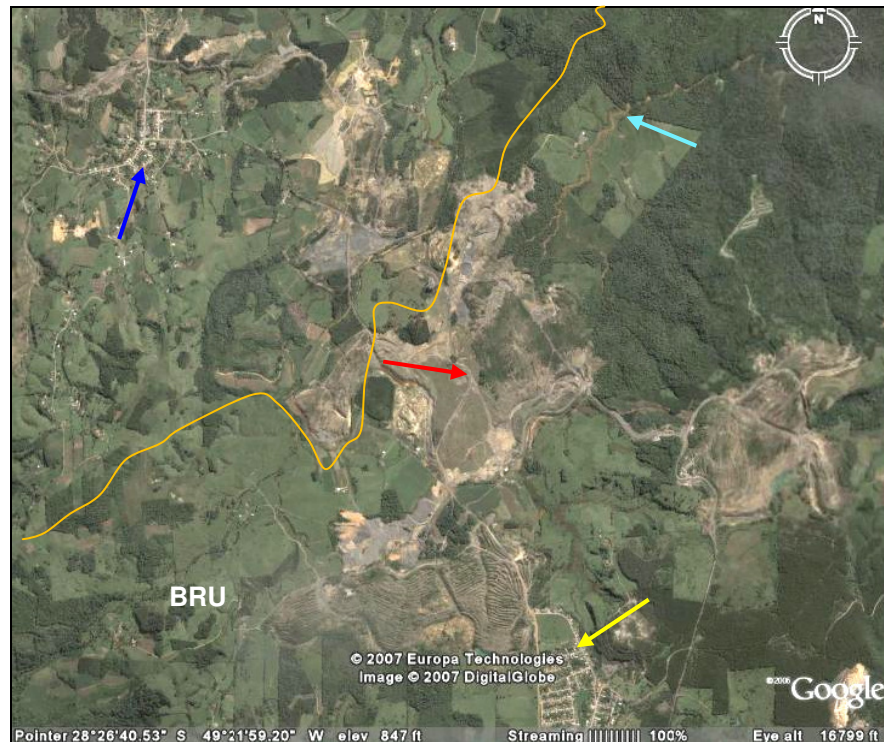


Figura 2: Área limítrofe entre a BRU e a Bacia do Rio Tubarão (linha laranja), com litologias gonduânicas. A comunidade de Itanema (Lauro Muller – Bacia do Rio Tubarão) é apontada pela seta azul, o Bairro de Santana (BRU) pela amarela. A seta ciano indica um dos afluentes da margem esquerda do Rio Carvão e a vermelha mostra a área mais degradada da BRU, onde coexistem depósitos de rejeito e cobertura de estéril de mineração a céu-aberto.



Figura 3: Comunidade de Santana no sudeste (seta laranja). A mineração a céu-aberto deixou grandes cristas no terreno, pilhas de rejeito (apontadas na seta ciano), cavas para passagem de água (apontadas na seta magenta) e acumulação de água ácida em lagoas superficiais (amarelo).

Existem outras atividades econômicas, implementadas pela colonização italiana, que marcaram o vale do Rio Urussanga e toda região carbonífera, baseada na economia rural de subsistência. Destaca-se, neste setor da alta Bacia, o cultivo de três diferentes produtos agrícolas, fumo, milho e banana. Merece destaque a produção de uvas e pequenas vinícolas artesanais que já foram mais importantes no passado para aquela área. No tocante à diversidade da atividade industrial, além da mineração de carvão (extrativa), destacam-se indústrias de transformação, como a cerâmica branca e a indústria têxtil, e de base, a exemplo de inúmeras pequenas metalúrgicas.

3.4.2 Baixa Bacia

Compreende o modelado de acumulação da Bacia do Rio Urussanga. Em função dos diferentes ambientes de deposição, pode ser dividida nos sub-setores da Baixada Fluvial (Planície Fluvial) e da Planície de Cristas Praiais com Dunas.

3.4.2.1 Baixada Fluvial

Conforme Veado (1989), da foz para as nascentes, esse sub-setor da Baixa Bacia inicia quando o ambiente de sedimentação é preferencialmente fluvial e pode ser chamada de planície de inundação fluvial ou baixada fluvial.

Em meio a ela, encontram-se elevações rochosas mais resistentes, que formam resquícios do modelado de dissecação. Um exemplo é o bloco granítico sobre o qual está situada a localidade de Esplanada. Ao longo do rio, situado a oeste desse bloco granítico, ocorre intrusão de cunha salina do oceano, acentuada pelas marés altas evidenciando que no passado, com nível de mar mais alto, a elevação poderia ter sido circundada pelo mar (Figura 4).

A atividade econômica pujante da baixada fluvial, por décadas, foi a extração de argila para emprego na indústria de cerâmica vermelha (olarias). Durante muito tempo, essa atividade foi praticada sem qualquer preocupação ambiental, deixando grandes cavas no terreno, sendo que muitas ficaram cheias de água, oferecendo riscos de acidentes e afogamento, pois servem como local de lazer, banho e pesca. As grandes cavas abertas, abandonadas, constituem locais de proliferação de mosquitos, facilitam o incremento na turbidez dos rios em dias de

chuva, descaracterizam as margens dos rios e contribuem para o assoreamento dos canais (Figura 5).

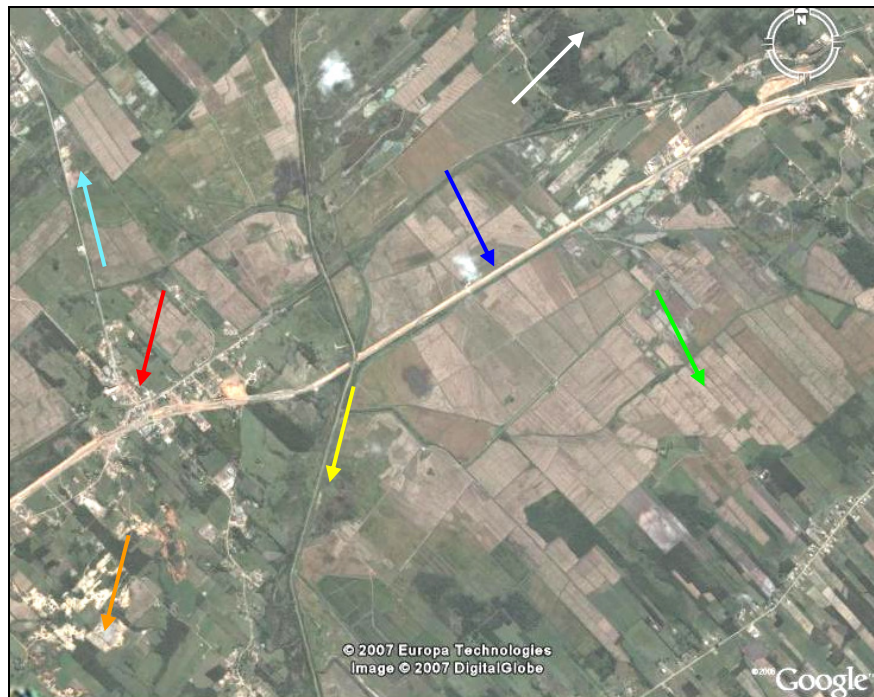


Figura 4: Baixada fluvial cortada na direção NE-SW pela rodovia BR-101 (seta azul) e N-S pelo Rio Urussanga retificado (seta amarela). As plantações de arroz são apontadas pela seta verde, a localidade de Esplanada pela seta vermelha, as cavas de argila pela seta laranja e o embasamento cristalino do limite nordeste da BRU pela seta branca. A seta ciano acompanha a estrada de acesso ao Município de Morro da Fumaça.

Atualmente, entretanto, outra atividade econômica ganha impulso na área, o plantio do arroz. A topografia plana e a disponibilidade de água favoreceram esse cultivo. Todavia, ocorre de forma desordenada a supressão de remanescentes da Mata Atlântica, adaptados a esses terrenos baixos e encharcados.

De acordo com Ker et al. (1986, apud Veado, 1989), o quadro pedológico da baixada fluvial constitui-se de solo glei pouco húmico distrófico, próprio de áreas mal-drenadas. Esses solos hidromórficos, de idade quaternária, constituem-se a partir de depósitos de silte e argila, do Rio Urussanga e seus afluentes. O horizonte superficial desses solos possui baixo teor de matéria orgânica.

Conforme Veado (1989), as oscilações marinhas, transgressão e regressão, e as conseqüentes mudanças no nível de base, são evidenciadas na bacia através do retrabalhamento de depósitos sedimentares antigos, como na margem esquerda do Rio Linha Anta, que possui terraço situado cerca de 10 metros acima do nível de base local, que é o leito do Rio Urussanga.

Nessa baixada fluvial, úmida, plana e com reduzida vegetação original, apresentam-se os extremos térmicos da BRU, mais acentuados no verão. As matas originais foram descritas por Klein & Veloso (1968, apud Veado, 1989), como Floresta Tropical das Planícies Quaternárias do Sul, sendo a figueira da folha miúda seu representante clássico.

Os processos de erosão, transporte e sedimentação, possíveis nos dois setores da bacia, constituem uma problemática para a Baixa Bacia. Nesse setor, a passagem do alto curso para a baixada fluvial facilita a acumulação de argila e silte e o assoreamento do leito. De acordo com Veado (1989), na década de 70, foram realizadas obras de contenção de cheias na BRU, retilinizando-se o Rio Urussanga.

Partindo dessa problemática, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), já extinto, realizou retificação e fixação do leito, desfazendo as sinuosidades naturais pré-existentes. Entretanto, na mesma medida em que o gradiente aumentou, observou-se acréscimo erosivo nas margens e promovendo um início de erosão remontante.

Contraditoriamente ao planejado, o canal principal ficou mais raso na baixada fluvial. Nesse setor, o entulhamento do leito se deu a partir do material remobilizado de níveis mais altos na Bacia. Possivelmente, essa retificação não apresentou os resultados esperados, pois o rio volta a apresentar sinuosidade próximo à foz. Além disso, o rio drena a baixada fluvial, ressecando o solo glei hidromórfico argiloso.

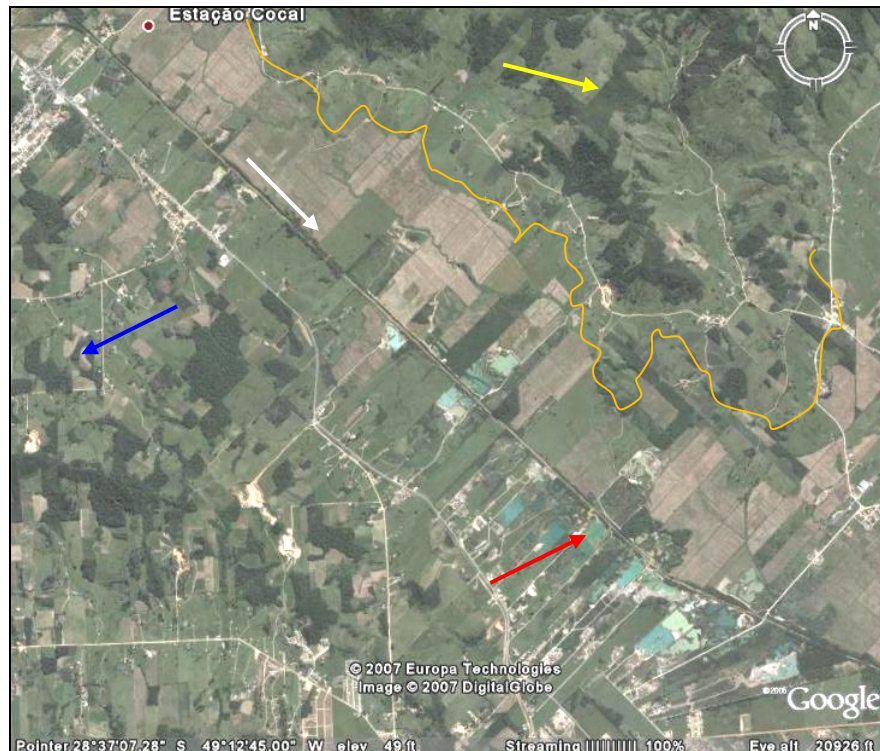


Figura 5: Detalhe da baixada fluvial. Observa-se estreitamento da planície fluvial localizada entre o embasamento cristalino que limita a BRU a NE (seta amarela – separado da baixada fluvial pela linha laranja) e o maciço granítico do centro da BRU (azul). A seta branca indica o leito do Rio Urussanga retificado e, a vermelha, cavas preenchidas por água, após retirada de argila.

3.4.2.2 Planície de Cristas Praiais com Dunas

O rio Urussanga deságua no Oceano Atlântico, no sul catarinense. Segundo Lobeck (1939), a foz dos rios principais é o setor em que os cursos da água encontram um lago ou o mar, depositando sedimentos, parcialmente sub-aéreos, formando depósitos interdigitados marinho-continentais ou flúvio-lacustres, perfazendo a transição entre dois ambientes de sedimentação distintos.

Na comunidade do Torneiro (Içara), 1500 metros antes de juntar-se ao mar, o rio conecta-se, lateralmente, com a Lagoa de Urussanga Velha. Essa deságua por um canal no rio Urussanga que, então, prossegue em foz simples até o Oceano Atlântico (Figura 6). Nessa planície com cristas praias, também se encontram algumas surgências do freático, resultando em corpos de água doce, preferencialmente longitudinais, acompanhando o lineamento das cristas praias holocênicas e, por conseguinte, da linha de costa.



Figura 6: Imagem demonstrando, no centro, a Lagoa de Urussanga Velha (seta vermelha), a foz do Rio Urussanga (seta laranja), os cordões holocênicos (seta rosa), as lagoas intermitentes (seta amarela), o maciço granítico da Esplanada (seta azul) e o trajeto do Rio Urussanga ao contornar esse maciço (seta branca).

O setor do rio Urussanga, que liga a lagoa ao mar possui hidrodinâmica estuarina, sendo que a cunha salina é perceptível até na altura da comunidade de Esplanada, às margens da BR-101. As águas mixo-halinas penetram cerca de 10 km adentro no canal fluvial principal da BRU. A foz do rio, na linha de praia, está, geralmente, aberta. No entanto, a corrente de deriva, estimulada por ventos de sul, bloqueia com areias, completamente, por vezes, a foz, causando um represamento das águas na bacia, especificamente na baixada fluvial.

Episódios transgressivos e regressivos originaram morfologias de cristas praiais, que caracterizam esse setor da Baixa Bacia, que teve a toponímia, aplicada por Veado (1989), de Geofácia Litorânea (Planície de Cristas Praiais com Dunas). De acordo com esse autor, essa Geofácia constitui-se de uma estreita e alongada restinga, que segue o lineamento da linha costa. Como pode ser observado na Figura 7, esse setor limita-se com a baixada fluvial (Planície Fluvial) e, devido a mudanças dos solos desenvolvidos sobre depósitos de diferentes ambientes, e de variados agentes, tanto a baixada fluvial como a planície de cristas praiais, apresentam nítidas diferenças morfológicas e texturais visíveis na Figura 7.

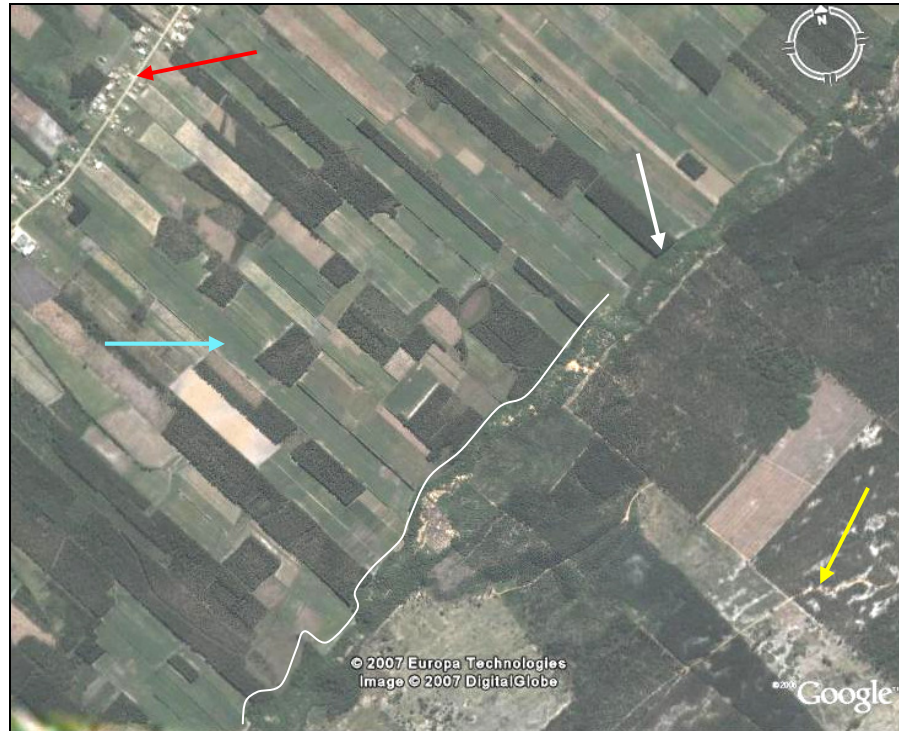


Figura 7: Contato entre os cordões litorâneos holocênicos (Planície de Cristas Praia com Dunas) e a baixada fluvial (Planície Fluvial) – linha branca. Notar as diferenças texturais entre ambas (seta branca). As dunas fixas por vegetação de restinga estão apontadas pela seta amarela, as plantações de arroz da baixada fluvial pela seta ciano e a localidade do Olho D'água (Jaguaruna), seta vermelha.

Na Figura 7 é perceptível uma área formada por cordões litorâneos, citado por Krebs (2004) como Laguna-Barreira fazendo limites com a Baixada Fluvial, citada por Veado (1989), em referência à Planície Fluvial. Krebs (2004), chama esse setor de Depósitos Flúvio-lagunares.

De acordo com Justus et al. (1986, apud Veado, 1989), a gênese dos cordões se deu pelo acúmulo de faixas arenosas mais estreitas, oriundas da deposição de areia quartzosa fina, que veio formar a restinga de idade holocênica. Ainda conforme os autores, esses cordões holocênicos são formados de sedimentos incoerentes, com pedogênese incipiente e presença de vegetação pioneira. A exemplo da vizinha bacia do rio Araranguá, os cordões holocênicos alternam áreas mais elevadas bem drenadas e setores rebaixados com o acúmulo de água intermitente e, até mesmo, turfas.

Assim, predominam na Planície de Cristas Praia com Dunas, cristas de episódios regressivos e modelados eólicos. Nesse setor do baixo curso, o rio Urussanga atravessa terrenos de altitudes inferiores a 10 metros. Quando o curso do rio é barrado pelas dunas ativas, o mesmo espraia-se na baixada fluvial. O discreto

solo da planície de cristas é pouco evoluído, não hidromórfico, arenoso, sendo muito poroso e pouco profundo.

A vegetação litorânea, disposta sobre a restinga, é composta por espécies herbáceas e arbustivas. É o resultado da influência direta oceânica nas plantas, caracterizando-as como halófitas, adaptadas ao ambiente salino. À medida que se afasta do mar, a vegetação adquire maior porte até atingir o estrato arbustivo. Conforme a explicitação feita por Veado (1989), a adoção de espécies exóticas, como o *Pinus eliotti*, é uma realidade negativa para o setor costeiro da bacia.

As comunidades estabelecidas sobre a Baixa Bacia são Olho D'Água, Balneário Esplanada, Balneário Campo Bom e Torneiro. Olho D'Água e Torneiro são núcleos de colonização açoriana, fruto da expansão do antigo povoado de Jaguaruna. Não apresentam atividades industriais expressivas, somente comércios e alguns engenhos de farinha. Os Balneários Esplanada e Campo Bom têm ocupação sazonal e sofrem crescente especulação imobiliária. A utilização de ponteiros para a retirada da água é uma prática comum nessas comunidades costeiras.

3.4.3 Qualidade das águas superficiais na BRU

As principais fontes de poluição encontradas na Bacia do Rio Urussanga são extração e beneficiamento de carvão, efluentes industriais (polietileno, corantes), esgotos domésticos, agroquímicos, dejetos de suínos e uso de água salobra, do setor estuarino do rio para irrigação.

Resumidamente, conforme descrito por Inocêncio (1985) e Gothe (1989), os problemas de poluição hídrica na região carbonífera, seja nos locais de lavra ou de beneficiamento, devem-se, na maior parte, à oxidação da pirita (sulfeto de ferro) - FeS_2 – que se encontra associada ao carvão. Exposta ao ar e às chuvas, a pirita oxida-se, gerando ácido sulfúrico e compostos de ferro, que acabam sendo carregados até os cursos de água, ou mesmo, até o lençol freático.

Uma vez que as águas superficiais estejam ácidas, elas irão solubilizar a maior parte dos metais tóxicos. Assim, a acidificação dos cursos de água constitui uma etapa da cadeia de impactos causados pelas atividades de mineração e beneficiamento do carvão sobre os recursos hídricos e, portanto, um indicador do

nível de poluição, tendo em vista que essas águas se espalham na planície nos momentos das inundações.

Em Santa Catarina, o início da exploração do carvão data de 1885 e abrange áreas incluídas nas bacias dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá. Embora, gradualmente, as práticas estejam evoluindo para formas menos agressivas ao ambiente e muitas minas tenham sido fechadas, o processo poluidor continua enquanto houver material piritoso exposto à oxidação, passivo ambiental que contribui diretamente para a acidificação dos recursos hídricos regionais.

Segundo Veado (1989), os resultados de sua dissertação mostraram, também, que, na Bacia do Rio Urussanga, hoje com população estimada em 95.578 habitantes (Comitê da Bacia do Rio Urussanga, 2008), os efeitos se faziam sentir praticamente ao longo de todos os quase 60 km de extensão do rio principal, cujas águas apresentavam valor de pH igual a 3.

A poluição das águas, causada pela drenagem ácida, é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral. Essa poluição decorre da infiltração da água de chuva nos rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, que alcança os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. Essa água adquire baixos valores de pH (<3), altos valores de ferro total, sulfato total e vários outros elementos potencialmente poluidores (cloro, alumínio) que impedem a sua utilização para dessedentação, irrigação, contribuindo para a destruição da flora e da fauna aquáticas. Também há risco de poluição do solo em áreas não recobertas por material oriundo da mineração. Isso ocorre através da inundação de setores baixos não contaminados com águas de drenagens ácidas e pelo avanço da pluma de poluição, a partir das áreas já poluídas (Mapa 5).

Poucos municípios do Sul do Estado de Santa Catarina têm coleta e tratamento de esgotos sanitários urbanos. Paralelamente, hábitos culturais da população contribuem para a poluição. Um destes é o hábito de usar as redes de drenagem pluvial urbana como se fossem redes de esgotos sanitários. Da mesma forma, o hábito de lançar os efluentes das atividades agropecuárias diretamente nos cursos de água, a exemplo das esterqueiras das pocilgas, aviários e água confinada das plantações de arroz – carregadas de agroquímicos, além das argilas. São fatores que contribuem para a poluição dos recursos hídricos da bacia, comprometendo os ecossistemas e o consumo humano das águas.

4 ÁGUA SUBTERRÂNEA

Toda água sob a superfície da terra é referida como água do subsolo ou subterrânea. Conforme Heath (1982), essas águas são, por definição, parte do Ciclo Hidrológico, que se encontram, momentaneamente, transitando pela subsuperfície. De acordo com Leinz & Amaral (2001), a descoberta e utilização das águas subterrâneas para fins econômicos e vitais não são privilégios do homem moderno, que há mais de seis séculos na localidade de Artois, França, perfurou o primeiro poço jorrante, denominado artesiano em referência àquela localidade.

De acordo com Custodio e Llamas (1983a), a utilização de água subterrânea por civilizações antigas conheceu seu apogeu com a utilização de *khanats*. Essa obra hidráulica, possivelmente inventada pelos armênios, e incorporada por assírios e persas, consistia em abrir galerias subterrâneas abaixo da zona de saturação da água, podendo assim, ser transportada por longas distâncias (até 70 km). Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), na Pérsia e no Egito, por volta de 800 a.C, se utilizou, em grande escala, túneis e poços para captar água subterrânea, mesmo sem o devido conhecimento da origem, ocorrência e movimento da água.

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), com Aristóteles conheceu-se grande avanço nos estudos hidrológicos, visto que o mesmo era conhecedor do caráter cíclico da água e de processos, como a evaporação e a condensação. Ainda de acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), foi no início da Era Cristã, na Roma antiga, que relacionou-se a infiltração das águas pluviais como fenômeno responsável pela acumulação de água subterrânea e seu reaparecimento na forma de fontes.

Todavia, as civilizações orientais estavam mais avançadas quanto à utilização da água subterrânea, principalmente na perfuração de poços profundos. De acordo com Brantley (1961, apud Custodio & Llamas, 1983a, p. 251):

Na China há uns 1500 anos se praticou a perfuração à percussão, baseada nos mesmos princípios que hoje em dia se utiliza na técnica moderna. Essas sondas eram construídas em grande parte com madeira e acionadas por força humana. Graças à paciência oriental e mantendo o trabalho por longos anos, as perfurações chegaram a profundidades realmente surpreendentes de 1200 a 1500 metros. Essas perfurações não tinham o objetivo de obter só água doce, mas gás e água salgada.

Entre os séculos XVII e XIX, estudiosos franceses sobressaíram-se nos avanços dos conhecimentos hidrológicos, por exemplo: Perrault e Darcy. De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), os estudos avançaram na mesma velocidade da sociedade moderna. Todavia, foi somente na década de 60, do século XX, que estudos relacionados a sistemas de fluxos propunham compreensão da interface das águas superficiais e subterrâneas. Em seguida, na década de 70, os modelos digitais de tratamento dos resultados de análise de águas substituíram os analógicos, favorecendo os pesquisadores da área hidrológica, que se tornaram usuários dessas tecnologias.

Conforme Clarke & King (2005), há cerca de 25 anos, alterou-se a postura das nações detentoras de tecnologia em relação à gestão dos recursos hídricos. As preocupações deixaram de estar relacionadas ao abastecimento, ou seja, quantitativas, e passaram a abarcar aspectos gerais das qualidades das águas e possível contaminação. Foram redobradas as atenções para resíduos industriais perigosos, depósitos de lixo e esgoto urbano, atividades mineiras e agrícolas, possivelmente comprometedoras da qualidade.

As águas subterrâneas são muito importantes para as atividades econômicas. De acordo com estimativas da UNESCO do ano de 1996 (Feitosa & Manoel Filho, 1997), foram perfurados, entre 1970 e 1995, cerca de 300 milhões de poços de naturezas distintas em todo o mundo. Só nos EUA, a média de perfuração anual atinge cerca de 400 mil poços, principalmente, destinados à irrigação. Todavia, conforme Clarke & King (2005), existe uma realidade paralela a essa utilização no setor primário da economia, sendo que, em alguns países da Europa Setentrional, e na Cidade do México, 90% da água utilizada no meio urbano e na indústria vem de aquíferos.

O quadro de insuficiência quanti-qualitativa das águas superficiais tem levado a Sociedade a se utilizar da água subterrânea, tanto para uso doméstico, como industrial e rural (irrigação e dessedentação animal). Clarke & King (2005) enumeraram que mais de 50% da população mundial consome água subterrânea e um terço das lavouras mundiais têm irrigação abastecida por poços.

Segundo Todd (1980), cerca de 3% da água doce disponível provêm de cursos de água e lagos. O restante, mais de 97%, calculada em cerca de 10 quatrilhões de m³, está em subsuperfície. De acordo com L'vovich (1967, apud Heath, 1982), 94% de toda água doce líquida é subterrânea. L'vovich (op. cit) afirma

que a água subterrânea é um dos maiores recursos naturais e, também, um dos mais disponíveis, sendo o seu valor incalculável. No Quadro 4 apresentam-se as potencialidades hídricas para água doce, em percentual e quilômetros cúbicos, e sua taxa de troca, em anos, que ocorre entre as partes da hidrosfera.

Quadro 4: Água doce na hidrosfera e sua taxa de troca

Partes da hidrosfera	Volume de água doce (km³)	Parte total de água doce (%)	Taxa de troca de água (km³/ano)
Geleiras	24 000 000	84,945	8 000
Água Subterrânea	4 000 000	14,158	280
Lagos e reservatórios	155 000	0,549	7
Solo	83 000	0,294	1
Atmosfera	14 000	0,049	0,027
Rios	1 200	0,004	0,031
Total	28 253 200	100	

Fonte: Heath (1982, p. 1).

Conforme Krebs (2004), a água subterrânea diferencia-se das outras águas doces por duas importantes características: possuem uma distribuição espacial mais ampla, estando presentes mesmo em regiões desérticas, e reagem lentamente às mudanças químicas promovidas dentro do aquífero. Essas características são típicas da água subterrânea como água armazenada (reservas), que vem se acumulando há milhares de anos, tendo leves acréscimos anuais de volume e que, atualmente, encontram-se num demasiado processo de exploração.

4.1 Água superficial e água subterrânea

As águas superficiais estão diretamente expostas às variações climáticas e constituem estágio transitório do processo de renovação das águas que, geralmente, é muito curto. Por outro lado, a água subterrânea foi armazenada durante milhares, ou milhões, de anos numa situação quase de equilíbrio, sem estar diretamente exposta às oscilações do meio externo, portanto, de trânsito lento.

As águas de superfície (dos lagos, represas e rios) e as águas subterrâneas (dos aquíferos) não são necessariamente recursos independentes. Em muitos casos, podem existir ligações entre corpos de água superficial e aquíferos... além da quantidade, também a qualidade da água subterrânea pode ser afetada pela infiltração da água superficial contaminada (Feitosa & Manoel Filho, 1997, p. 07).

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), quase toda a água existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no constante movimento da água sobre e sob a superfície terrestre. A Figura 8 ilustra, esquematicamente, o ciclo hidrológico. Esse é controlado no solo, subsolo, oceano e atmosfera, por diversos fatores, tais como gravidade, permeabilidade, condições climáticas, entre outros.



Figura 8: Representação esquemática do ciclo hidrológico.
 Fonte: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>, acessado no dia 27/02/08.

Segundo Heath (1982), embora o ciclo hidrológico tenha começo e fim indefinidos, se faz interessante discutir suas principais etapas, iniciando pela transpiração dos vegetais, evaporação de superfícies líquidas expostas, tanto nos continentes quanto nos oceanos. A umidade acumulada forma nuvens, que retornam à superfície continental ou oceânica na forma de precipitação. Parte da precipitação infiltra na superfície emersa. Entretanto, quando a velocidade de precipitação excede a de infiltração, ocorre o escoamento superficial sobre o terreno.

Conforme Custodio & Llamas (1983a), o conceito de ciclo hidrológico transmite a idéia do movimento e transferência das massas de água de um local para outro, seguindo determinadas causas fundamentais como o Sol, que

proporciona energia para elevar a água da superfície, a gravidade, que faz com que a água condensada precipite e a que está na superfície, escorra e infiltre.

De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), o conceito de infiltração foi introduzido no ciclo hidrológico por Horton, que propôs que a capacidade de infiltração potencial é a taxa máxima com que um solo pode absorver a precipitação. Assim, diz respeito ao processo pelo qual a água penetra a partir da superfície, por ação da gravidade, por entre os poros do solo, até alcançar a superfície do lençol freático. É função de vários fatores, como granulometria das partículas do solo, porosidade, permeabilidade, profundidade do material saturado, características do fluido que se infiltrou, declividade do terreno e quantidade da chuva.

A água atmosférica perfazendo parte do ciclo hidrológico, quando precipitada, infiltra no solo e nas rochas, por porosidades, diáclases ou falhas. Em sub-superfície, essas águas acumular-se-ão no freático formando uma zona saturada. De acordo com Leinz & Amaral (2001), a água na zona de saturação move-se descendentemente e lateralmente a locais de descarga de água subterrânea, tais como fontes nas encostas.

De acordo com Heath (1982), é denominada de zona saturada do freático a porção basal de acumulação de água subterrânea até o limite máximo de infiltração. Nesse segmento, os poros e outros espaços das rochas estão quase completamente preenchidos por água, ou seja, estão abaixo da superfície piezométrica.

Segundo Cederstrom (1964), a parte saturada é denominada de lençol de água e, em alguns casos, esse lençol fica acima da superfície, como num rio ou lago. Conforme Bunting (1971), denomina-se água subterrânea àquela contida na zona saturada. A contida na zona de aeração é conhecida como água edáfica, em referência ao solo, ou seja, não faz parte do freático.

A zona de aeração, no solo, comporta a água edáfica e está localizada acima do nível piezométrico. Moniz (1975) demonstrou que existe classificação de três tipos dessas águas: água gravitacional – é aquela que penetra no solo após a precipitação; quando essa água adere-se às partículas do solo por forças de adsorção chama-se de água pelicular; e a retida nos espaços ou interstícios microscópicos por forças capilares é denominada de água capilar.

4.2 Permeabilidade e migração das águas subterrâneas

As precipitações pluviais, por infiltração, possibilitam o acúmulo de água na zona saturada, alimentam os rios, juntamente com as águas subterrâneas, e elevam o nível piezométrico. Esse nível acompanha a topografia da superfície devido à lentidão da infiltração promovida pelo atrito com as partículas rochosas.

Segundo Cederstrom (1964), a porosidade total, ou simplesmente porosidade de um solo ou rocha, pode ser definida como a relação existente entre o volume de vazios e o volume total da rocha ou solo. Seguindo esse raciocínio, as águas subsuperficiais podem mover-se por poros, fissuras maiores e vazios naturais das rochas (porosidade primária), ou em fissuras menores e cavidades de dissolução (porosidade secundária).

Nas rochas sedimentares e nos sedimentos, ocorrerá, principalmente, a porosidade primária dando origem a aquíferos porosos. Conforme Harvey (1982, p. 281), algumas rochas vulcânicas também dão origem a aquíferos porosos, como as ígneas vulcânicas. A porosidade primária está presente nas rochas sedimentares clásticas (arenitos), como também nos sedimentos inconsolidados, ocorrendo também nos elúvios e colúvios.

Conforme Krebs (2004), a porosidade secundária está associada aos chamados meios anisotrópicos, originando o aquífero fissural, no caso de fraturas e fissuras em rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), e o aquífero cárstico, no caso de dissolução de rochas carbonáticas.

De acordo com Heath (1982) é muito relativa a velocidade de migração das águas subterrâneas, estando entre milímetros ou quilômetros por ano, para a qual as diferenças litológicas devem ser consideradas, além das variações climáticas, pois, em áreas com estiagem, o nível piezométrico tende a baixar. Deve-se considerar a migração lateral das águas subsuperficiais em determinados estudos específicos. “Em nível microscópico, o movimento da água subterrânea em um meio poroso pode ser muito complexo devido a irregularidade dos poros e canalículos através dos quais o fluido deve passar” (Feitosa & Manoel Filho, 1997, p. 35).

A espessura que a zona de saturação pode alcançar depende muito da litologia e da condição estrutural da área. Conforme Custodio & Llamas (1983b), rochas de origem vulcânica tendem a ter menos água em profundidades maiores, a menos que ocorram muitos falhamentos. Por outro lado, litologias porosas,

geralmente arenitos ou outras rochas sedimentares clásticas, oferecem condições propícias para armazenarem água, mesmo em grandes profundidades.

De acordo com Cederstrom (1964), nas áreas com morfologia superficial deprimida, isto é, em áreas de baixadas, as águas subterrâneas possuem migração lateral praticamente nula. Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), em áreas com relevo de elevadas altimetrias, a água subterrânea, das porções com topografias elevadas, imprimirá peso sobre as adjacências promovendo lenta movimentação da água em profundidade alicerçada pela pressão hidrostática. A água subterrânea da zona saturada atinge o máximo de movimento onde a pressão hidrostática comprime os poros e os capilares, fechando-os.

A vagarosa movimentação subterrânea da água é atribuída ao contato da mesma com os poros e capilares, oferecendo atrito. De acordo com Leinz & Amaral (2001), em rochas diaclasadas, o movimento é rápido, nas argilas é praticamente nulo e nos arenitos, como o Botucatu, a água percorre cerca de 10 cm/dia sob um atmosfera de pressão.

A porosidade total é independente do tamanho absoluto das partículas. A porosidade é uma soma de interstícios distribuídos entre agrupamentos de partículas, como se fossem bolas de bilhar empilhadas. A porosidade efetiva diminui com o tamanho das partículas e, assim, por exemplo, o silte tem uma porosidade efetiva menor que a areia grossa, mesmo quando suas porosidades totais possuem mesmo valor (Custodio & Llamas, 1983b p. 1453).

A permeabilidade é a propriedade que permite a circulação da água em uma rocha ou depósito sedimentar, pode ser medida em laboratório com o permeâmetro. A unidade de medida indicativa da permeabilidade é o *darcy*. Segundo Leinz & Amaral (2001), uma rocha possui a permeabilidade de um darcy se permitir a passagem, sob pressão diferencial de uma atmosfera, de 1 cm^3 por segundo de fluido com viscosidade igual a um centipoise (água a 20°C) por uma seção de 1 cm^2 e de 1cm de comprimento. Quanto maiores os poros e fendas de uma rocha, maior será a permeabilidade. Essa será quase nula em rochas com poros pequenos, mesmo numerosos como nas argilas e argilitos.

A lei de Darcy é válida apenas para escoamentos laminares. Neste tipo de escoamento, as velocidades são relativamente pequenas e a água percola suavemente pelos poros do aquífero... para velocidades maiores, o escoamento passa a ser dominado pelas forças de inércia, deixa de ser laminar e transforma-se em turbulento (Feitosa & Manoel Filho, 1997, p. 41).

Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), a permeabilidade é calculada em *milidarcys* para evitar números fracionários. Uma rocha com permeabilidade de 400 *milidarcys* pode ser considerada como apta a um aproveitamento das águas subterrâneas. De acordo com Leinz & Amaral (2001), uma rocha estratificada possui diferentes valores de permeabilidade, dependendo do plano que se analisa. Um exemplo é o Arenito Botucatu que possui variações no potencial de permeabilidade, indo de 700 a 1200 *milidarcys*, aproximadamente. Cabe salientar que a migração e o movimento das águas subterrâneas dependem muito dos diferentes armazenadores de águas subterrâneas, isto é, das rochas e depósitos sedimentares.

4.3 Diferenças na litologia e armazenamento de água

A natureza de cada rocha interfere muito no potencial de armazenamento de água. De acordo com Cederstrom (1964), os poros determinam a capacidade de retenção de água pelas rochas sedimentares, pelas vesículas dos basaltos, pelas fissuras para rochas do embasamento cristalino (Quadro 5).

Quando a quantidade de água, na rocha, for passível de exploração para fins de abastecimento, dá-se o nome de aquífero. Conforme Leinz & Amaral (2001), as dimensões dos poros, e as intercomunicações existentes entre os mesmos, serão determinantes na capacidade da rocha armazenar e fornecer, água para a superfície.

Têm-se como exemplo, as rochas sedimentares clásticas grossas, que potencializam o armazenamento e fornecimento, ao contrário das rochas com grãos pequenos, que só armazenam e propiciam pouca migração de água nos planos horizontal e vertical.

Duas propriedades físicas do arranjo dos grãos constituintes de uma rocha sedimentar definirão uma maior capacidade de armazenamento e fornecimento. O grau de seleção dos fragmentos é diretamente importante, uma vez que quanto mais selecionado for o sedimento, haverá poucas partículas menores obstruindo e preenchendo os poros. Outra característica é a fábrica ou disposição espacial dos componentes. Segundo Leinz & Amaral (2001), a disposição cúbica dos grãos oferece o máximo de porosidade, ao contrário da estrutura ortorrômbica do arranjo dos mesmos.

De acordo com Leinz & Amaral (2001), mesmo ciente de que grande parcela de água fica retida nos interstícios por forças de adsorção ou talvez de capilaridade, o valor médio da porosidade de uma rocha componente de um aquífero pode ser chamado de coeficiente de armazenamento. Nesse mesmo aquífero, se for analisada a capacidade de vazão relacionada com a permeabilidade do mesmo obter-se-á o coeficiente de transmissividade.

Quadro 5: Variação da porosidade conforme o tipo de rocha ou sedimento

Rocha ou sedimento	Porosidade (%)
Areia grossa e cascalho	20 a 40
Arenito Botucatu	18
Argila	Até 50
Granito	0,5 a 2

Fonte: Leinz & Amaral (2001, p. 84).

4.4 Aquíferos e camadas confinantes

De acordo com Custodio & Llamas (1983a), qualquer estrato ou formação geológica, que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, pode ser chamado de aquífero, desde que ofereça quantidades economicamente viáveis para suprir às necessidades humanas.

Conforme Heath (1982), uma camada confinante é uma unidade de rocha que possui pouca porosidade e permeabilidade, ou seja, com condutividade hidráulica, ou permeabilidade, muito baixa, e que restrinja o movimento da água subterrânea para os aquíferos adjacentes.

Por outro lado, segundo Custodio & Llamas (1983a, p. 265), os aquíferos são formações geológicas que contêm muita água em seu interior, possuem porosidade, mas baixa permeabilidade, que retarda, todavia, permite o fluxo das águas subterrâneas. Os aquíferos recebem contribuições verticais de aquíferos subjacentes.

Nem todas as rochas possuem a mesma facilidade para transmitir e proporcionar água em quantidades economicamente viáveis. Custodio & Llamas (1983a) admitem que os aquíferos mais freqüentes sejam formados por depósitos inconsolidados de origens distintas (fluvial, eólica), devido às suas boas condições de recarga (porosidade e permeabilidade) e pouca profundidade piezométrica.

As rochas sedimentares clásticas constituem, em geral, aquíferos de meio poroso, no qual os arenitos são bons armazenadores e transmissores de água. De acordo com Harvey (1982), 95% de toda a água subterrânea da Terra está armazenada nas rochas sedimentares consolidadas. Os arenitos são conhecidos, pelas suas propriedades aquíferas, a exemplo do arenito eólico Botucatu (Aquífero Guarani) e do arenito Dakota nas grandes planícies da América do Norte, citados por Cederstrom (1964), por suas reservas e produtividades.

Os aquíferos de meio fraturado são representados pelas rochas ígneas e metamórficas. Harvey (1982), afirmou que é difícil definir se as rochas vulcânicas constituem bons aquíferos, pois depende de características físico-químicas que a originou. Os autores Custodio & Llamas (1983a) afirmaram que, em basaltos recentes, é grande a possibilidade de transmissibilidade de água, ao passo que os granitos são os piores aquíferos quanto ao rendimento.

De acordo com Krebs (2004), as rochas ígneas extrusivas, mesmo apresentando alguma porosidade primária, como juntas de resfriamento e zonas amigdaloidais, têm comportamento hidrogeológico de meio fraturado. A Figura 9 ilustra alguns diferentes tipos de aquífero de meio poroso.

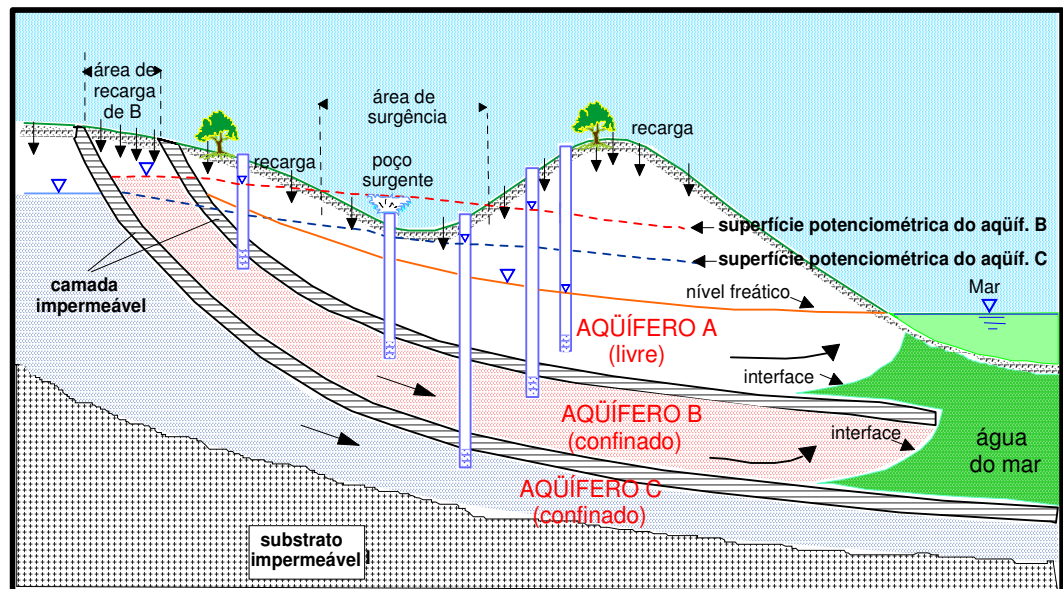


Figura 9: Tipologia de aquíferos.

Fonte: Freitas (1998, adaptado de Feitosa & Manoel Filho, 1997) e modificado por Krebs, 2004.

De acordo com Custodio & Llamas (1983a), os aquíferos podem ser classificados, segundo suas características litológicas, em fraturado e poroso. Todavia existe uma classificação mais importante que os agrupa de acordo com a pressão hidrostática em aquífero confinado, semi-confinado e livre.

O aquífero confinado é aquele em que a água se encontra sob pressão e sobreposta por uma camada confinante, sua saturação é máxima. A pressão no topo do aquífero é maior que a pressão atmosférica. Segundo Heath (1982), nos poços que são furados em aquíferos confinados a água nivela-se a uma altura correspondente ao nível potenciométrico. Se o nível da água em poço artesiano se estabelece acima da superfície do solo, mas abaixo do nível potenciométrico, pode ser chamado de jorrante ou surgente (a exemplo do poço surgente do aquífero B na Figura 9). Na Figura 9, percebe-se que a superfície potenciométrica do aquífero B está acima da superfície topográfica no local do poço do qual jorra água.

Conforme Krebs (2004), os aquíferos confinados compreendem dois tipos: o drenante e o não-drenante. Aquífero confinado não-drenante é um aquífero cujas camadas confinantes, superior e inferior, são impermeáveis. Esse aquífero também é conhecido como artesiano e está confinado sob uma pressão maior que a atmosférica, por meio de camadas impermeáveis.

Ainda de acordo com Krebs (2004), o aquífero confinado drenante possui uma das camadas limítrofes semipermeável, favorecendo a entrada ou saída de fluxos, pelo topo ou pela base, por drenagem ascendente ou descendente, respectivamente. A abordagem conceitual de Custodio & Llamas (1983a) é diferente. Esses autores nomearam o aquífero confinado drenante como aquífero semi-confinado. Para esses autores, a camada semi-confinante também pode ser chamado de aquífero, pois o topo ou a base semipermeável permite o contato dessas águas com um aquífero principal.

Segundo Krebs (2004), os aquíferos livres, também chamados de freático ou não-confinado, são aqueles cujo limite superior é uma superfície freática e que está em contato direto com o ar, sob a mesma pressão atmosférica. Nesses, geralmente, a água é livre para subir ou descer. De acordo com Heath (1982), os poços abertos em aquíferos não-confinados são referidos como poços freáticos e o nível estático da água, nesses poços, indica a posição da superfície freática.

Nas suas áreas de recarga, os aquíferos confinados são aquíferos livres, através dos quais a água da chuva consegue penetrar por infiltração (a exemplo da zona de recarga do aquífero B na figura 9).

4.5 Fontes de água

Quando o nível hidrostático deixa de acompanhar a superfície topográfica e intercepta a superfície do terreno, a água flui na superfície e forma-se uma fonte ou nascente. Quando há o aproveitamento de uma fonte, é necessário haver a consciência da possibilidade de poluição, através de seu uso por animais silvestres ou domésticos e, assim, existirem microorganismos patogênicos relativos às fezes.

Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), a capacidade de filtragem natural das águas de fontes, ou mesmo de poços e ponteiras, cai muito após episódio pluvial contínuo ou mais intenso. Por isso, a qualidade das águas de fonte se apura com filtração vagarosa estimulada por tempo atmosférico ensolarado. Fendas ou fissuras no substrato causam perda qualitativa no processo natural de purificação, pois aceleram a velocidade da água.

Conforme a natureza estrutural das rochas, ou de acordo com a intersecção da topografia com a camada aquífera, as fontes podem ser classificadas de várias maneiras de acordo com Leinz & Amaral (2001, p. 86):

Fonte de falha: formada a partir da disposição paralela de uma rocha permeável com outra de menor permeabilidade, separadas por falha.

Fonte de camada: acontece quando uma camada impermeável é capeada por uma permeável que são interceptadas pela superfície do terreno.

Fonte de vale: quando a encosta do vale intercepta o nível hidrostático, podendo também ser um depósito de *tálus*. A fonte recebe a designação específica de fonte aluvionar.

Fonte de fissura: fruto do diaclasamento comunicante, característico de rochas cristalinas.

5 GEOQUÍMICA

A Geoquímica é um campo do conhecimento que aborda a realidade terrestre de forma compartimentada, dividindo-a desde o cosmos, as rochas, o ar os solos e as águas. Na explicitação de Mason (1960), a Geoquímica pode ser definida como a ciência relativa à química da Terra, considerando seu conjunto e suas partes componentes. De acordo com Rohde (2004), foi pela diferenciação dos elementos químicos do núcleo, manto e crosta do planeta, estruturados pelo ciclo geoquímico, que as diferentes esferas tiveram gênese – atmosfera, criosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera.

Turekian & Wedepohl (apud Rohde, 2004) afirmaram que cabe à Geoquímica atribuir valores e limiares para elementos químicos distribuídos nos compartimentos terrestres. Ela é mais especializada e abrangente que a Geologia e preocupa-se com a distribuição e migração dos elementos constituintes do planeta no espaço e na dimensão temporal. Conforme Krauskopf (1972), qualquer desvio padrão num valor atribuído como normal para uma constante natural, promovendo um desvio ou irregularidade química, pode ser chamado de anomalia.

A abundância, distribuição e migração dos elementos químicos são temas introdutórios para explanações que envolvam geoquímica. De acordo com Mason (1960), as unidades básicas para estudos geoquímicos são os elementos, não apenas como átomos mas também como íons, na compreensão de que cada um constitui uma partícula carregada de eletricidade. Conforme o mesmo autor, todo átomo ou íon contém uma energia própria que é trocada quando passam por transformações físico-químicas. A recombinação e redistribuição dessa energia acontece quando os íons buscam atingir sistemas químicos estáveis.

Conforme Rohde (2004), a abrangência dos estudos geoquímicos deve contemplar as diferentes esferas planetárias: litosfera, atmosfera, hidrosfera, criosfera e a resultante biosfera. Segundo Krauskopf (1972), de forma mais restrita, a escala de análise geoquímica parte do mineral e das rochas, buscando compreender os mesmos como sistemas químicos que promovem trocas formando novos sistemas, sob novas condições, que nem sempre podem apresentar-se estáveis.

Compreende-se que é necessário quantificar constituintes químicos do planeta, além de identificá-los e decifrar as leis que regem tais combinações. De

acordo com Rohde (2004), um dos princípios básicos desses estudos seria entender as leis que condicionam a distribuição e migração de elementos químicos em reações que envolvem as diferentes esferas terrestres. Mason (1960) relata que na Geoquímica, cada elemento desempenha separadamente seu papel, mas segundo princípios estabelecidos.

5.1 Geoquímica Ambiental

A Geoquímica Clássica não abordava a participação das atividades antrópicas nos contrastes das anomalias e suas explicações causais. Conforme Krauskopf (1972), isso se devia à pouca contribuição da Sociedade nas alterações químicas da natureza, tendo em vista que o quadro urbano-industrial não tinha sido impulsionado.

No contraponto dessa visão geoquímica do passado, destituída do papel humano de transformação da natureza, surge a Geoquímica Ambiental, mudando o paradigma epistemológico do natural para o ambiental, contendo o homem e, por conseguinte, ampliando a gama de possibilidades dos acontecimentos geoquímicos. Rohde (2004) explicou que, numa escala local e regional, a Geoquímica Ambiental torna-se eficaz nos diagnósticos das “anomalias antropogênicas”, ou seja, aquelas introduzidas no ambiente pela ação do homem.

De acordo com Rohde (2004), a mudança paradigmática ocorre definitivamente por volta dos anos 1970, quando a Sociedade reconhece que é promotora quase que exclusivamente das perturbações ou anomalias de alguns elementos durante seus ciclos de vida. Toma-se, como exemplo o acúmulo do mercúrio, que é elemento traço, em animais, e dos gases danosos desse elemento despejados na atmosfera e que são causadores de cânceres, por exemplo.

Segundo Rohde (2004), a Geoquímica Ambiental possui relações-ponte entre as Ciências Naturais e Ciências Sociais, pois se preocupa com as atuações dos seres humanos e suas implicações no conjunto geoquímico das esferas. De acordo com esse mesmo autor, esses estudos são novos e imprescindíveis já que se originam da desestruturação sócio-política e econômica das superpopulações desamparadas, cidades e industrialização crescentes. A Geoquímica Ambiental preocupa-se com os processos geoquímicos da antroposfera.

No tocante à abrangência e especificamente nos objetivos da Geoquímica Ambiental, conforme Mason (1960), é possível determinar-se a existência, concentração, especiação, migração, mobilidade potencial de elementos e substâncias iônicas, dentro das esferas terrestres, especificamente diluídas na hidrosfera e suas possíveis inter-relações com a natureza litosférica, bem como a antroposfera.

5.2 Composição da Crosta

Na composição média da crosta, prevalecem os elementos constitutivos das rochas magmáticas e metamórficas que são, em parte, semelhantes aos elementos das rochas sedimentares. No âmbito da crosta, quando se leva em consideração a espessura da mesma, é pouca a participação química de elementos constitutivos de rochas sedimentares e metamórficas (Quadro 6).

Clarke e Washington (1924, apud Cederstrom, 1964) estimaram que as composições químicas das rochas superficiais assemelham-se muito por todo o planeta. A grande diferenciação que é feita diz respeito à pequena presença de silicatos de alumínio nos assoalhos oceânicos, onde predomina o silicato de magnésio nas suas rochas.

Conforme Krauskopf (1972), ao longo do século XX inúmeros estudos foram realizados na tentativa de elucidar a composição química da crosta. As propostas veiculadas por vários pesquisadores não atingiam consenso, pois muitos não consideraram todas as regiões de análise: oceânicas profundas, plataforma continental, dobramentos modernos e escudos cristalinos.

De acordo com Mason (1960), quando se determinou a constituição média dos elementos químicos majoritários na formação da crosta, pode se perceber que o assoalho submarino reflete uma natureza ferro-magnesiana, além de silicatos, ao passo que a crosta continental exprime características de alumino-silicatos.

Segundo Mason (1960, p. 60),

oito elementos químicos (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K e Mg) formam 99% do total da crosta terrestre. Desses, é o Oxigênio que prepondera quando se analisa sua porcentagem em peso e volume. A crosta terrestre é formada quase exclusivamente por compostos oxigenados, em especial silicatos de alumínio, cálcio, magnésio, sódio, potássio e ferro. O percentual atômico do oxigênio excede os 60% do total da crosta, o volume os 90%. A crosta é essencialmente um pacote de íons de oxigênio ligados aos de silício e de outros metais mais comuns.

Quadro 6: Elementos químicos mais comuns na crosta terrestre

Elemento	Porcentagem em peso (%)	Porcentagem atômica (%)	Raio atômico	Porcentagem em volume (%)
O	46,60	62,55	1,40	93,77
Si	27,72	21,22	0,42	0,86
Al	8,13	6,47	0,51	0,47
Fe	5,00	1,92	0,74	0,43
Mg	2,09	1,84	0,66	0,29
Ca	3,63	1,94	0,99	1,03
Na	2,83	2,64	0,97	1,32
K	2,59	1,42	1,33	1,83

Fonte: Mason (1960, p. 60).

5.3 Composição química dos magmas e rochas magmáticas

Conforme Mason (1960), os elementos mais comuns, na composição das rochas de origem magmática, são O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na e K (Quadro 6). São todos elementos interdependentes e o oxigênio combina-se com o silício em tetraedros e, então, com os demais elementos, resultando em silicatos e óxidos variados que formam a crosta terrestre.

Mason (1960) apontou que o óxido de silício (SiO_2) é dominante, constituindo de 30 a 80% da composição das rochas. Na seqüência, aparece alumina Al_2O_3 , com variação entre 10 e 20% na composição das rochas da crosta. Os óxidos de Fe, Ca, K, Na e Mg aparecem numa freqüência de 1 a 10% na composição média das rochas. Alguns outros elementos, como o Ti, P, e Mn, também são comuns na grande gama de rochas eruptivas. Todavia, esses se acham em pequenas quantidades. Algumas rochas magmáticas possuem mais de 2% de água em sua composição mineralógica.

5.4 Composição química das rochas sedimentares

A composição química das rochas sedimentares pode estar intimamente relacionada com as das rochas magmáticas, visto que os sedimentos se originam em grande parte, delas. No entanto, algumas variantes físico-químicas atuaram no

processo intempérico e de diagênese, proporcionando mudanças consideráveis dos elementos constituintes das rochas sedimentares.

Conforme Lisboa (1997), ocorre uma troca permanente do elemento sódio, que é lixiviado da crosta de composição sedimentar, para os oceanos. Da mesma forma, há adição de elementos ou compostos da atmosfera e hidrosfera, especialmente água e gás carbônico, na composição das rochas sedimentares.

Mason (1960) explicou que alguns aspectos chamam a atenção na composição desse tipo de rocha. Um exemplo é a quantidade de cálcio encontrada nas rochas sedimentares, que é muito maior se comparada com a média de concentração de cálcio no material fonte, as rochas magmáticas.

O pesquisador Poldervaart (1932, apud Mason, 1960), correlacionou a proporção de elementos químicos entre rochas magmáticas e sedimentares apresentando seus resultados em percentuais (Quadro 7):

Quadro 7: Composição química das rochas (%)

	Média das rochas magmáticas	Média das rochas sed. Argilosas	Média das rochas sed. areníticas	Média das rochas sed. carbonáticas	Média das rochas sedimentares
SiO₂	59,14	58,1	78,33	5,19	44,50
TiO₂	1,05	0,65	0,52	0,06	0,60
Al₂O₃	15,34	15,40	4,77	0,81	10,90
Fe₂O₃	3,08	4,02	1,07	0,54	4,00
FeO	3,80	2,45	0,30	-	0,90
MgO	3,49	2,44	1,16	7,89	2,60
CaO	5,08	3,11	5,50	42,57	19,70
Na₂O	3,84	1,30	0,45	0,05	1,10
K₂O	3,13	3,24	1,31	0,33	1,90
H₂O	1,15	5,00	1,63	0,77	-
P₂O₅	0,30	0,17	0,08	0,04	0,10
CO₂	0,10	2,63	5,03	41,54	13,40
SO₃	-	0,64	0,07	0,05	-
BaO	0,06	0,05	0,05	-	-
MnO	-	-	-	-	0,30
Total (%)	99,56	100,0	100,00	99,84	100,00

Fonte: Poldervaart (1932, apud Mason, 1960, p. 167).

5.5 Substituição Atômica

De acordo com Mason (1960), as composições dos minerais são mais variáveis do que estáveis, devido à substituição de um elemento por outro na rede cristalina do mineral. Numa estrutura molecular, os íons não formam um todo homogêneo imutável. Eles estão em freqüente modificação e combinação com elementos isolados, ou componentes de outras moléculas.

De acordo com Mason (1960), a interação dos íons, a ponto de proporcionar a substituição atômica, é viável na medida que outro íon possua raio análogo ao que será substituído. Segundo Krauskopf (1972), é muito freqüente, dependendo do ambiente de formação e suas características, a estrutura de uma molécula possuir muitos elementos atípicos, substituindo aqueles que são tradicionalmente encontrados.

De acordo com Krauskopf (1972), para a substituição iônica ou atômica, é essencial o tamanho dos íons ou átomos. Todavia, não é decisivo que os íons substituidores tenham a mesma carga de valência. Conforme Mason (1960), para se manter a neutralidade elétrica, é necessário que ocorra uma substituição paralela de outro íon, que desempenhará papel secundário, compensador.

Essas substituições são muito comuns em minerais silicáticos, como os plagioclásios, e envolvem o alumínio na substituição. De acordo com Mason (1960), há um exemplo, a substituição da albita (sódio) para a anortita (cálcio) e vice-versa: $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$ para $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$. Nesse exemplo, o Ca^{+2} substitui o Na^{+1} , mas, para obtenção da neutralidade molecular, um íon de Si^{+4} é substituído por um íon de Al^{+3} .

Krauskopf (1972) registrou que, o tamanho do raio iônico é fundamental na substituição iônica, na busca da pouca deformação de uma estrutura interna do mineral. Entretanto, Schmiegelow (2004) afirmou que, sob temperaturas elevadas, os íons participantes de uma substituição iônica podem ser menos semelhantes quanto ao raio, a exemplo do que acontece com as soluções de sais, dispersas em água, uma vez que sua solubilidade aumenta com a temperatura. Conforme Mason (1960, p. 101)

As temperaturas mais elevadas permitem uma tolerância maior; a esse respeito as soluções sólidas são análogas às soluções de sal comuns na água, aumentando a solubilidade com a temperatura. Essa propriedade de incremento da substituição atômica com a temperatura, cada vez mais elevada, proporciona um meio de se determinar a temperatura sob a qual o mineral se depositou.

5.6 Potencial iônico

Segundo Lisboa (1997), o potencial iônico de um elemento determina os processos de formação e precipitação de minerais em meios aquosos. Os íons, em solução, atraem, para suas camadas de valências, as moléculas da água e, assim, hidratam-se. Schmiegelow (2004) registra que enquanto os cátions atraem os extremos negativos dos pólos (O) das moléculas de água, os ânions atraem os extremos positivos (H) da molécula. A quantidade de moléculas de água, que se associa aos diferentes íons, depende do tamanho do íon e da intensidade da carga elétrica no meio aquoso.

De acordo com Mason (1960, p. 176), “a hidratação de um íon é proporcional a sua carga e inversamente proporcional ao seu raio”. A essa relação carga/raio chama-se de potencial iônico, que é importante, além da hidratação, para a determinação de muitas propriedades iônicas na presença de água. Mason (op.cit) analisou o comportamento dos íons em presença de água. Ele verificou que o potencial iônico é uma medida de eletronegatividade, visto que, quanto menor o raio de um cátion e maior a sua carga, seu óxido será mais ácido, e o inverso condiciona um óxido mais básico.

Conforme Mason (1960), essa concentração eletrostática de cargas positivas, sobre a superfície do cátion, pode repelir os prótons das então encadeadas moléculas de água. Se a repulsão for forte, esses íons desprendidos podem se associar ao cátion central da molécula, na busca da neutralização de carga, mas dando, como resultado, a precipitação de um hidróxido insolúvel. Mason (1960), então, afirmou que o potencial iônico, nesse caso, determinaria o local que um elemento ocupa na ordem de deposição das rochas sedimentares, ou de precipitados em leitos de rios, a exemplo do Fe^{3+} .

Segundo Krauskopf (1972), elementos com potencial iônico baixo (raio grande e pouca carga), como magnésio, sódio e cálcio, mantêm-se na forma de solução em meio aquoso de transporte, não rompendo a molécula de água e, conseqüentemente, precipitando. De acordo com este mesmo autor, elementos com potencial iônico médio sofrem hidrólise e os elementos com forte potencial iônico, possuem forças repulsivas muito fortes e os íons das moléculas de água são expulsos.

Pode se citar a importância do potencial iônico na precipitação de alguns elementos, como o ferro e o manganês, pois, de acordo com Mason (1960, p. 177), se o exemplo for o íon Fe^{2+} , que é estável em solução e possui potencial iônico de 2,7, a sua precipitação ocorrerá precedida de oxidação do estado ferroso (2+) para férrico (3+), o qual possuirá potencial iônico muito mais elevado, 4,7. O oxigênio cedido pelas moléculas de água, para a passagem do íon estável Fe^{2+} para Fe^{3+} , permite a liberação de íons H^+ , que altera o potencial de hidrogênio (pH) dessas águas.

Segue o Quadro 8, dos potenciais iônicos, propostos por Goldschmidt e adaptados por Mason (1960).

Quadro 8: Potenciais iônicos

Cs^+	0,60	Th^{4+}	3,90
Rb^+	0,68	Ce^{4+}	4,30
K^+	0,75	Fe^{3+}	4,70
Na^+	1,00	Zr^{4+}	5,10
Li^+	1,50	Be^{2+}	5,70
Ba^{2+}	1,50	Al^{3+}	5,90
Sr^{2+}	1,80	Ti^{4+}	5,90
Ca^{2+}	2,00	Mn^{4+}	6,70
Mn^{2+}	2,50	Nb^{5+}	7,50
La^{3+}	2,60	Si^{4+}	9,50
Fe^{2+}	2,70	Mo^{6+}	9,70
Co^{2+}	2,80	B^{3+}	13,00
Mg^{2+}	3,00	P^{5+}	14,00
Y^{3+}	3,30	S^{6+}	20,00
Lu^{3+}	3,50	C^{4+}	25,00
Sc^{3+}	3,70	N^{5+}	38,00

Fonte: Mason (1960, p. 177).

5.7 Concentração do íon hidrogênio

Conforme exposto por Mason (1960), a concentração do íon hidrogênio (H^+) nas águas naturais é de extrema importância para as associações moleculares e precipitações de elementos. Lisboa (1997) afirmou que a água pura, a 25º Celsius,

possui uma concentração de 10^{-7} mol/litro. Se essa concentração for maior para essa mesma temperatura, se diz que a água é ácida; se for menor, é alcalina.

Segundo Mason (1960), com o aumento da temperatura, tende a aumentar a concentração do íon hidrogênio na água. O índice pH é a medida inversa da concentração de hidrogênio, funcionando como logaritmo negativo da concentração deste íon. Então, o potencial de hidrogênio (pH), numa água neutra, é 7. Todavia, existem algumas águas que, em estado natural, podem apresentar neutralidade com pH menor ou maior que 7.

De acordo com Rohde (2004), o pH do meio é um fator importante como determinante na precipitação de hidróxidos a partir de uma solução. Enquanto a sílica é altamente solúvel nos pHs acima de 7 (alcalinos), a alumina é altamente solúvel em pHs situados entre 4 e 9. Esse exemplo influencia na formação da caulinita e montmorillonita. A solubilidade do ferro também varia muito com os diferentes valores de pHs da água em que está em solução. Cooper (1937, apud Mason, 1960) exprimiu as concentrações de ferro para diferentes valores de pH (Quadro 9):

Quadro 9: Concentrações de ferro de acordo com o pH

pH	Quantidade
8,5	3×10^{-8} mg/m ³
8	4×10^{-7} mg/m ³
7	4×10^{-5} mg/m ³
6	5×10^{-3} mg/m ³

Fonte: Cooper (1937, apud Mason, 1960, p. 179).

5.8 Composição das águas terrestres

As águas doces possuem papel geoquímico importante na meteorização e decomposição das massas continentais. Portanto, a água doce, seja a subterrânea, ou a dos rios e lagos, nunca é pura, pois sempre contém substâncias dissolvidas. As águas doces possuem salinidade variável. Todavia, Conway (1942, apud Krauskopf, 1972) afirmou que águas doces levemente salinizadas deveriam conter carbonatos, cálcio e magnésio, mas sem ultrapassar 200 mg/l.

Conforme Cederstrom (1964), águas com salinidades acima desse valor contém sódio, cloretos e sulfatos. Essa constatação pode indicar a impactação dos recursos hídricos, promovida pelo homem ou escoamento superficial em áreas de

solos salinos. De acordo com Mason (1960), águas com concentração de sais acima das 50 mg/l, na maioria das vezes, sofreram interferência humana. Entretanto, tal afirmação não se aplica a águas subterrâneas e, portanto, águas superficiais provenientes de aquífero fraturado podem ser altamente salobras.

Conforme Mason (1960, p. 212), mais de 90% do cloro e dos sulfatos presentes nas águas doces são cíclicos, provavelmente recebidos do oceano via atmosfera. A comparação entre as águas doces continentais e a média dos oceanos indica que as mesmas possuem caráter químico oposto. A concentração preponderante de elementos da água do mar indica: $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$ e $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{CO}_3$, enquanto das águas continentais: $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ e $\text{CO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ (Mason, 1960, op.cit.).

5.9 Composição química das águas subterrâneas

As características químicas das águas subterrâneas são determinadas pelas reações químico-biológicas nas zonas através das quais a água se move. De acordo com Heath (1982), a precipitação atmosférica, a superfície do solo, com suas reações químicas e biológicas, e a composição mineral dos aquíferos e camadas confinantes influem na qualidade da água subterrânea.

De acordo com Custodio & Llamas (1983a), nas águas subterrâneas naturais, a maioria das substâncias dissolvidas encontram-se em estado iônico. Dentre os íons presentes, alguns quase sempre se encontram na água subterrânea, e a sua soma, freqüentemente, representa a totalidade dos constituintes. Esses são os íons principais que condicionarão os aspectos químicos e hidrogeoquímico das águas.

Os principais constituintes iônicos possuem concentrações superiores a 1mg/l, muitos deles fornecidos pela água da chuva: cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), bicarbonato (HCO_3^-), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}). De acordo com Custodio & Llamas (1983a), os íons nitrato (NO_3^-), carbonato (CO_3^{-2}), potássio (K^+) e mesmo o ferro (Fe^{+2}) são, às vezes, incluídos dentro do grupo dos íons fundamentais, mesmo que apareçam em menores proporções.

Segundo Krebs (2004), algumas substâncias dissolvidas de baixa ionização, como alguns ácidos, o ferro (hidróxido) e a sílica em estado coloidal (SiO_4H_4), constituem composição importante na água subterrânea, assim como seus íons derivados (Fe^{+2} , Fe^{+3} e SiO_4H_3^-). Já, o elemento ferro se oxida facilmente e, em

águas que tiveram contato com o ar, transforma-se em hidróxido que, em forma coloidal, é facilmente transportado ou precipitado.

Custodio & Llamas (1983a) afirmaram que os principais gases dissolvidos na água são o gás carbônico (CO_2) e o oxigênio (O_2). A alta solubilidade do gás carbônico facilita a hidrólise e produção do ácido carbônico. De acordo com Cederstrom (1964), o dióxido de carbono nem sempre forma bicarbonato, mas pode permanecer em pequena proporção, como gás dissolvido. Já, o oxigênio produz um meio oxidante e define a solubilização ou não de íons que trocam com facilidade de valência.

De acordo com Custodio & Llamas (1983a), muitos íons metálicos e elementos derivados de As, Sb, Cr, Pb, Cu, Ni, Zn, Ba, Cd, V, Ag, Hg, U, aparecem em quantidades mensuráveis. Entretanto, na maioria das vezes, são elementos-traço. Constituintes-traço são aqueles que, em solução, aparecem em concentrações menores do que 0,0001 ppm, ou seja, dificilmente quantificáveis pelos métodos analíticos clássicos. São de muito interesse no entendimento da relação da água com as atividades mineradoras, bem como na compreensão de seus efeitos sobre a saúde.

Custodio & Llamas (1983a) deixaram claro que a presença de elementos-traço em águas contaminadas pode ser bem particular. Na própria natureza, existem águas com composições que não se ajustam ao exemplificado, porque contém quantidade pequena de íons considerados fundamentais e uma fração importante de um elemento-traço. Em seu trabalho, Krebs (2004) escreveu que é freqüente o encontro de alguns íons numa proporção superior ao *background* regional, principalmente nas áreas adjacentes a jazimentos metálicos naturais, e/ou mesmo referentes a zonas de contaminação antrópica. Quando verificada tal anomalia geoquímica, merecem destaque as investigações de caráter ambiental na área da saúde pública, devido aos seus efeitos nocivos.

Os compostos químicos fornecidos à água subterrânea estão sobremaneira relacionados com as chuvas. Conforme Cederstrom (1964), a chuva carrega dióxido de carbono, o qual, em combinação com a água, gera o ácido carbônico (H_2CO_3). Quando em contato com o solo, a água precipitada tende a adquirir mais dióxido de carbono e ácido húmico. Portanto, essa água nova pode dissolver constituintes do solo.

As próprias nuvens possuem muitos sólidos suspensos e dissolvidos, originários de diferentes ambientes de evaporação. Harvey (1982) afirmou que os ânions mais importantes fornecidos pela precipitação são: Cl^- , SO_4^{2-} , e os cátions Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ e Na^+ . Os oceanos também contribuem na composição das águas atmosféricas. Entretanto, com o incremento da distância em relação aos oceanos diminuem as quantidades ofertadas dos íons Cl^- e Na^+ . O cátion Mg^{+2} também é, preferencialmente, encontrado nos oceanos. Já, Ca^{+2} , K^+ e SO_4^{2-} são de origem continental.

Os autores Davis & De Wiest (1966, apud Custodio & Llamas, 1983a, p. 200) apresentaram uma relação dos constituintes principais, constituintes secundários, constituintes menores e elementos-traço, presentes nas águas subterrâneas:

- Constituintes maiores (concentrações > 1,0 mg/l): sódio, bicarbonato, cálcio, sulfato, magnésio e cloreto;
- Constituintes secundários (concentrações entre 0,01 e 10,0 mg/l): ferro, carbonato, estrôncio, nitrato, potássio, flúor, boro e sílica;
- Constituintes menores (concentrações entre 0,00001 e 0,1 mg/l): antimônio, lítio, alumínio, manganês, arsênio, molibdênio, bário, níquel, bromo, fosfato, cádmio, rubídio, cromo, selênio, cobalto, titânio, cobre, urânio, germânio, vanádio, iodo, zinco e chumbo;
- Constituintes-traço (concentrações menores do que 0,001 mg/l): berílio, rutênio, bismuto, escândio, cério, prata, césio, tálio, gálio, tório, ouro, estanho, índio, tungstênio, lantânio, térbio, nióbio, ítrio, platina, zircônio e rádio.

Leinz & Amaral (2001) afirmaram que é muito variável a proporção de solutos nas águas subterrâneas, considerando-se as diferentes litologias percoladas, bem como seus diferentes graus de alteração intempérica e demais interferências. Têm-se o exemplo de águas que infiltram em rochas ricas em ferro, magnésio ou carbonato de cálcio dissolvendo sais. Outros elementos podem ser solubilizados e transportados na forma de sulfatos ou cloretos.

Uma propriedade química das águas é a dureza, que exprime os teores dos sais de cálcio e magnésio. Quanto maior for a concentração, maior será a dureza. As propriedades químicas das águas subterrâneas são determinantes para seu aproveitamento econômico. De acordo com Leinz & Amaral (2001, p. 88), a mais usual medida para avaliar a dureza é o grau francês (1 grau = 10mg de CaCO_3 em um litro de água). Abaixo de 5 graus franceses, as águas são consideradas moles e possuem usos sem restrições. Entre 16 e 30 são consideradas duras e apresentam restrições de uso. Um exemplo é o uso metalúrgico em caldeiras, onde os sais de

uma água dura podem criar crostas de carbonatos nos equipamentos, danificando-os. Segundo Mason (1960), acima de 60 graus franceses a água é imprestável para a maioria dos usos.

Custodio & Llamas (1983a) afirmaram que as águas subterrâneas contêm no máximo 1000 mg/l, às vezes 2000 mg/l, de sólidos totais dissolvidos. Quando o conteúdo de soluto ultrapassa essa quantia, limitando-se a 5000 mg/l, chama-se de águas salobras, acima de 40.000 mg/l é provável que seja água salgada oceânica. Todavia, não é raro ocorrerem águas com concentrações acima de 300.000 mg/l. Esse tipo é conhecido como salmoura e está associado a depósitos salinos, o que corresponde à saturação dos solutos na água.

As águas minerais possuem sais em dissolução mais concentrados que águas comuns. De acordo com Custodio & Llamas (1983a), são águas muito antigas, geralmente situadas em grandes profundidades. Quando há presença de alguma concentração acentuada de soluto, essas águas possuem fins terapêuticos. Na composição química dessas águas, muitas vezes, concentram-se bicarbonato de cálcio e sulfatos, que tornam essas águas salobras, aspecto indicativo da presença de sais solúveis.

Existem substâncias artificiais que são constituintes das águas subterrâneas, alterando a composição química original. Heath (1982) afirmou que isso pode resultar na mudança da qualidade da água, afetando a qualidade biológica, química e física desse recurso. A deterioração da qualidade da água resulta de um impacto direto sobre o aquífero, promovido por atividades antrópicas ambientalmente nocivas.

Segundo Custodio & Llamas (1983a), dentre as substâncias e constituintes especiais, originários de fontes de poluição biológica, podem ser citados as bactérias (coliformes e streptococos) e os vírus que aparecem associados com resíduos humanos e de animais. Heath (1982) ressaltou que essa perda qualitativa acontece quando a água subterrânea entra em contato com a água superficial. As características biológicas devem ser constantemente averiguadas, quando da utilização da água para abastecimento público.

Custodio & Llamas (1983b) afirmaram que, em áreas fortemente industrializadas e povoadas, ocorre poluição por derivados de petróleo e suas conseqüências podem ser irreversíveis para a água. Muitos dos derivados industriais, como os metais pesados, contaminantes radioativos e detergentes,

podem, em pequenas quantidades, alterar também as características físicas da água, como o cheiro e o sabor. Os autores supracitados exemplificam que um litro de gasolina é suficiente para inutilizar 5 m³ de água, sendo que existem poluentes piores.

Os resíduos das atividades agrícolas e agroindustriais também podem ser diagnosticados como substâncias artificiais componentes das águas subterrâneas. De acordo com Custodio & Llamas (1983b), os pesticidas (inseticidas, herbicidas, alguicidas, fungicidas), os higienizantes e desinfetantes à base de DDT (organoclorado), os fertilizantes e corretivos de solo, podem alterar a constituição química natural das águas subterrâneas.

De acordo com Canter et al. (1988, apud Krebs, 2004, p. 82), os mais conhecidos pesticidas, usados nas atividades agrícolas e agroindustriais, podem ser relacionados de acordo com a magnitude e tempo de persistência nas águas:

- inseticidas clorados e hidrocarbonados: clordane (5 anos); DDT (4 anos); BHC e dieldrin (3 anos); heptacloro, aldrin e metabólitos (2-3 anos);
- inseticidas fosfatados: o diazinon (12 anos); disulfoton (4 anos); fosfatos (2 anos); malation e paration (1 ano);
- herbicidas de uréia, triazina e picloram: propazine e picloram (18 anos); simazine (12 anos); atrazine, monuron (10 anos); fenuron, diuron (8 anos); linuron (4 anos); prometrin (3 anos);
- herbicidas de ácido benzóico e amidas: 2,3,6-TBA (12 anos); bensulida (10 anos); difenamida (8 anos); amiben (3 anos); CDAA e dicamba (2 anos);
- herbicidas fenóxidos, toluidina e nitrila: trifluralin (6 anos); 2,4,5-T (Weedar2,4,5-T, Esteron 245 BE) (5 anos); diclorobenil (4 anos); MCP (3 anos); 2,4-D (1 ano).

5.10 Qualidade das águas subterrâneas

A água pura, composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, não existe na natureza, pois, habitualmente, encontram-se grandes quantidades de substâncias que são dissolvidas nos terrenos por onde a água circula. Conforme Heath (1982), as águas subterrâneas, geralmente, contêm mais sólidos dissolvidos, pois têm maior superfície de contato com o substrato, circulam lentamente sob pressão e temperaturas maiores, o que reflete numa concentração salina superior, se comparada às águas superficiais.

Conforme Custodio & Llamas (1983b), as águas subterrâneas, por estarem submetidas a certas condições físicas, como maior pressão e temperatura em relação às águas da superfície, apresentam matéria em suspensão e matéria orgânica reduzidas, ou seja, a atividade de microorganismos é retida por adsorção

dos grãos minerais. Naturalmente, as águas subterrâneas se depuram por filtragem, tornando-se translúcidas.

De acordo com Custodio & Llamas (1983b), a qualidade da água pode ser definida quando averiguada sua composição, buscando-se o conhecimento dos efeitos que podem causar cada um de seus elementos constituintes, bem como todos atuando conjuntamente. Segundo esses autores, é com base nesse conhecimento químico e biológico que poderão ser estabelecidas as possibilidades de utilização, de acordo com os limites estudados, para agricultura, indústria, abastecimento público doméstico e outros.

Dentro de cada uso específico, as águas possuem limitações de uso, como por exemplo, no abastecimento público, para o qual a água deve ser potável. Entretanto, pode ser um pouco salobra, desde que uma instalação hidráulica independente a dirija para lavar calçadas ou para descarga de vasos sanitários. Segundo Clarke & King (2005), a noção de qualidade da água é um conceito relativo, que se refere ao tipo de uso ao qual é destinada, definindo-se, assim, normas ou padrões diferentes para cada situação. Custodio & Llamas (1983b) alertaram para o fato de que águas naturais e boa qualidade não são sinônimos, pois em, muitos casos, as águas naturais podem ser de baixa qualidade ou até mesmo tóxicas.

A utilização de água subterrânea para irrigação é crescente. Conforme Clarke & King (2005), as lavouras irrigadas respondem por 17% do total da atividade agrícola, mas produzem um terço dos alimentos mundiais. O maior problema da irrigação consiste em encharcar os solos mal-drenados que, além de desperdiçar água, pode causar a salinização dos mesmos. Esse problema pode ser maior, caso ocorra utilização da água subterrânea, que pode ser naturalmente rica em sais.

Os padrões das águas, que se queira utilizar para irrigação, devem estar de acordo com preceitos menos severos que para outros usos. Devem ser considerados os impactos que a água causará ao solo, como alterações na composição iônica em relação aos constituintes naturais do solo. Segundo Custodio & Llamas (1983b), atualmente são utilizados o *índice SAR* (*U. S. Salinity Laboratory Staff*) e o *índice de Scott* (coeficiente salino) para averiguar as classificações da água para irrigação de acordo com tipos específicos de cultivo.

Conforme Harvey (1982), o *índice SAR* classifica as águas em 16 categorias de uso, num diagrama cartesiano que cruza a condutividade, em

microSiemens/cm (mScm^{-1}) a 25 graus Celsius, nos eixos das abcissas, pela relação de adsorção de sódio, eixos das ordenadas. É comparada a concentração relativa de sódio com relação ao magnésio e cálcio. Custodio & Llamas (1983b) definiram o *coeficiente salino de Scott* como a altura, em centímetros, de água que, por evaporação daria quantidade suficiente de sais no solo correspondente a uma altura de 1,3 metro. O boro e o bicarbonato também interferem no ritmo de crescimento das plantações.

Custodio & Llamas (1983b) registraram que para dessedentação animal, a qualidade da água deve estar de acordo com as características químicas, físicas, biológicas e radiológicas similares ao do consumo humano. O objetivo é evitar contaminações, intoxicações e até a morte do animal. Os valores admitidos diferem conforme a espécie, porte do animal, sexo, raça e cadeia alimentar. Em algumas espécies tolerantes, o limite superior para sais é de 4000 mg/l de água ou de 4000 ppm. Conforme Custodio & Llamas (1983b), os animais de granja têm carência de cálcio e fósforo, os herbívoros têm uma maior necessidade de consumirem sais, já os carnívoros encontram sais em sua dieta.

Há uma diversidade de usos industriais para a água. Clarke & King (2005) relataram que 20% de toda a água doce consumida no planeta são destinados para esse fim. Dentre as duas principais necessidades industriais da água, destacam-se os usos gerais em caldeiras e refrigeração ou em processos como os das tintas, papéis e metalúrgico. De acordo com Harvey (1982), as regras para usos industriais de água são complexas, pois dependem das necessidades diferentes de qualidade para cada uso.

Dentre os usos gerais que se faz da água nas indústrias, o problema mais detectado é o ataque químico da água em caldeiras e demais equipamentos. Segundo Custodio & Llamas (1983b), a alta condutividade deixa a água corrosiva, formando, com os metais, óxidos não protetores. Alguns microorganismos contidos na água podem provocar corrosão, como bactérias de ferro e manganês e bactérias redutoras dos sulfatos. O poder incrustante da água se deve à presença de alguns íons, como cálcio, magnésio e ferro. Com a variação de temperatura, os bicarbonatos também podem atuar. Por outro lado, a maioria das águas subterrâneas apresenta temperaturas constantes, que contribui para a refrigeração de equipamentos.

De acordo com Harvey (1982), a água subterrânea utilizada para processos industriais deve seguir uma rigidez maior, pois o produto final carregará as substâncias diluídas. Para obtenção de produtos alimentares, tintas, papéis e têxteis, a água não deve conter coloração, odor e deve ser quimicamente potável. Nos processos industriais, a má qualidade da água pode desencadear alguma mazela ao consumidor final dos produtos.

Segundo Krebs (2004), a água utilizada para atividades desportivas (natação) e recreacionais (balneabilidade), portanto uso de contato direto, necessita de um controle de suas propriedades, pois pode oferecer riscos à saúde humana, quando contiver patógenos e metais pesados.

Custodio & Llamas (1983b) afirmam que a água é potável quando segue altos padrões de pureza química e biológica e quando possui propriedades físicas, que não ofereçam riscos à saúde humana. De acordo com Harvey (1982), essas águas não podem apresentar excesso de clorofenol e hidrocarbonetos, pois esses constituintes orgânicos alteram as propriedades organolépticas como odor, sabor e cor. Também os nitratos, quando não há rochas que liberem Nitrogênio ou compostos deste, indicam poluição. Juntas, essas substâncias podem desencadear, na saúde humana, efeitos tóxicos, carcinogênicos ou mutagênicos.

Geralmente, o conceito de potabilidade deve seguir normas pré-estabelecidas em nível internacional, com seus padrões, recomendações e comparações de níveis nacionais. De acordo com Custodio & Llamas (1983b, p.1885),

A tendência mundial é a normalização das regulamentações existentes, não somente no que se refere à fixação de limites admissíveis das características da água, mas também no que se refere ao sistema de coleta de amostras, periodicidade das mesmas e métodos de análises que serão utilizados.

A Organização Mundial da Saúde (OMS, apud Custodio & Llamas, 1983b, p.1886) adota o critério de dividir em quatro grupos as características que podem afetar a qualidade da água e devem ser levadas em conta.

- Químicas e físicas: que definem potabilidade, riscos à saúde, toxicidade e poluição.
- Bacteriológicas: que se embasam na determinação de microorganismos que podem afetar diretamente a saúde do homem, bem como indicar a presença de outros patogênicos.
- Biológicas: que buscam detecção microscópica de contaminação com uma análise quantitativa de partículas sólidas orgânicas e inorgânicas.
- Radioativas: que definem a natureza radioquímica de alguns elementos e suas quantidades máximas admissíveis.

Segundo Krebs (2004), os diversos padrões de potabilidade que podem ser estabelecidos, exigidos, adotados ou recomendados pelos diferentes organismos relacionados à saúde pública, são direcionados por órgãos ambientais e de saúde, de âmbitos federal, estadual e municipal, freqüentemente adotando pouca variação nos limites máximos toleráveis. Todavia, Harvey (1982) já alertava que os padrões de potabilidade assumíveis mudam com os lugares e seus climas. Por exemplo, em regiões semi-áridas, aceita-se como limite superior até 2400 mg/l de sulfato ou 2800 mg/l de cloreto, pois águas com concentração menores destes íons nestes ambientes serão dificilmente encontradas.

No Brasil, o Ministério da Saúde define os padrões de potabilidade da água, através da Portaria 518, de 25 de março de 2004. Nessa Portaria, são apresentadas as concentrações máximas de substâncias, admitidas no consumo humano. De acordo com o Capítulo II, Artigo nº 4, desta Portaria, água potável deve atender ao padrão de potabilidade em que as substâncias químicas que representam risco para a saúde, sejam elas inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes ou substâncias radioativas têm seu limite definido. A Portaria também determina o que deve ser seguido pelos responsáveis no controle da qualidade da água. A água potável deve estar de acordo com os padrões químicos sugeridos no Quadro 10:

Quadro 10: Padrão de potabilidade para as substâncias químicas que representam riscos à saúde

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
INORGÂNICAS		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto ⁽²⁾	mg/L	1,5
Mercurio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
ORGÂNICAS		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloro de Carbono	µg/L	2
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	70

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
AGROTÓXICOS		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (g-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinate	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
CIANOTOXINAS		
Microcistinas ⁽³⁾	µg/L	1,0
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre ⁽⁴⁾	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar à legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta Tabela.

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.

(4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

Essa Portaria também recomenda, no Capítulo IV e Artigo 16, que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,5 e que o teor de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/l. A Portaria sugere a realização de testes para verificação do gosto e odor em águas tratadas, coletadas na saída da rede de distribuição, com o plano mínimo de amostragem definido pela cor e turbidez.

No rol dos constituintes prejudiciais à saúde, podem ser citados o nitrato, o arsênico, o fluoreto e os metais pesados. De acordo com Krebs (2004), o nitrato tem ocorrência generalizada, sendo problema devido sua alta mobilidade e estabilidade nas águas subterrâneas. Conforme Custodio & Llamas (1983b), os nitratos têm limite máximo permitido de 45 mg/l, pois, em grandes quantidades, pode chegar a desencadear a metahemoglobinemia, causando aspecto azulado nas pessoas. Segundo Clarke & King (2005), essa doença é comum em crianças e

ocorre quando a mesma converte nitrato em nitrito, impedindo o transporte de oxigênio até as células.

Custodio & Llamas (1983b) indicaram que o fluoreto e o arsênico encontram-se, naturalmente, nas águas subterrâneas. A carência do flúor pode prejudicar os dentes, assim como seu excesso, que pode causar fluorose do esqueleto e calcificar ligamentos. Por isso, seu limite, de acordo com a OMS, foi estipulado em 1,5 mg/l. Conforme Clarke & King (2005), o arsênico em excesso leva ao envenenamento (arsenicose) e provoca problemas de pele, cânceres, doenças nos vasos sanguíneos, hipertensão e problemas reprodutivos. Ainda de acordo com Clarke & King (2005), a contaminação por fluoreto e arsênico é crescente nos países recentemente industrializados, como Índia e China.

Segundo Custodio & Llamas (1983b), os metais pesados (cádmio, cromo, chumbo, mercúrio) tendem a ser imobilizados por precipitação, mas migram significativamente em águas subterrâneas com baixo pH. De acordo com Clarke & King (2005), embora se saiba que o chumbo prejudique as funções cerebrais, velhos encanamentos de chumbo levam água em muitos países industrializados. Os autores afirmaram, também, que os níveis de chumbo em alguns rios asiáticos extrapolam 20 vezes os níveis dos países ocidentais.

Dos vários constituintes inorgânicos que podem ser encontrados com frequência nas águas subterrâneas, na maioria das vezes como compostos naturais, e outras como consequência da poluição, Krebs (2004) relacionou cloreto, manganês, ferro, sulfato e sódio. Dentre os constituintes orgânicos que comprometem a qualidade das águas subterrâneas destacam-se os alcanos, benzenos-clorados e alquenos. De acordo com Custodio & Llamas (1983b), esses compostos tendem a ser retidos no terreno e certos corantes são resistentes à degradação, assim possibilitam uma poluição difícil de ser combatida. Conforme Krebs (2004), tais compostos constituem, na prática, os solventes sintéticos e desinfetantes, amplamente utilizados em diversas áreas industriais. Há ainda os trihalometanos que são cancerígenos. Estes podem, também, ser produtos das reações com cloro nas estações de tratamento de água.

5.11 Influência do material do aquífero na qualidade da água subterrânea

Após a precipitação pluvial e a sua infiltração, a água subterrânea sofre grandes mudanças na sua composição química durante sua passagem ao longo das rochas devido à dissolução, hidrólise, precipitação química, adsorção, trocas de íons, oxidação, redução e ao metabolismo microbológico. Conforme Lisboa (1997), o conhecimento da composição das rochas torna-se indispensável para o entendimento da composição química das águas subterrâneas.

As propriedades de um aquífero controlam a solubilidade dos minerais, a extensão e tempo de contato das águas com o material confinante. De acordo com Harvey (1982), águas confinadas, com idades semelhantes e em mesma litologia, devem possuir similaridades, na maioria das vezes, quanto aos tipos de solutos e qualidade. Caso isso não ocorra, atribui-se à recarga com água superficial de má qualidade.

Não existe uma relação biunívoca entre as características geológicas e a composição química das águas de uma zona, já que essa vem influenciada, não somente pelo ambiente geológico (composição química das rochas e seus produtos de meteorização), mas também, pelo ambiente hidrológico (precipitação, evapotranspiração e permeabilidade dos terrenos). Em algumas regiões mais desenvolvidas, possuem também um papel progressivamente importante as atividades humanas, que podem ser muito variadas: importação de água de distinta qualidade, intrusão de água marinha ou de águas fósseis ou congênicas, injeção de resíduos domésticos ou industriais, etc. (Custodio & Llamas, 1983b, p. 1466).

As rochas ígneas, muitas vezes, formam densas massas impermeáveis e a água subterrânea encontra-se nas fraturas. Todavia, de acordo com Custodio & Llamas (1983b, p.1476), existem algumas rochas vulcânicas que podem compreender bons aquíferos. No geral, águas contidas nas rochas ígneas possuem poucos sólidos dissolvidos, devido ao lento intemperismo dos silicatos em profundidade. O alto conteúdo de sílica é característico em rochas cristalinas que, combinado com o alumínio durante o intemperismo, formam os argilominerais.

Conforme Harvey (1982), os metais alcalinos e alcalinos terrosos, dissolvidos em aquíferos de rochas ígneas, dificilmente apresentam as mesmas proporções se comparados com as rochas confinantes, pois são facilmente remobilizados dos silicatos. A maioria do ferro fica em solução e uma parte precipita em hidróxidos. Muitas vezes, o pH dessas águas é baixo pelo fato do dióxido de carbono fazer parte da hidrólise dos silicatos, formando o bicarbonato (HCO_3^-).

Em aquíferos de rochas graníticas, é comum se encontrarem menos que 300 mg/l de sólidos totais dissolvidos. Segundo Harvey (1982), essa baixa concentração se deve ao lento intemperismo sofrido por essa rocha. Normalmente, encontra-se mais sódio que potássio e o cálcio é mais abundante que o magnésio. Exceções podem apresentar um total de alcalinos terrosos superior ao total de alcalinos, fato perceptível em aquíferos que possuem granito rico em augita e hornblenda.

De acordo com Heath (1982), nas águas confinadas nos basaltos e diabásios, existem conteúdos expressivos de sílica (20-40 mg/l) e destacam-se o cálcio e o magnésio. Como os alcalinos terrosos superam a quantidade de alcalinos, o conteúdo de sódio é relativamente baixo. Comparações entre águas subterrâneas levemente ácidas de granitos e diabásios demonstram qualidade geoquímica similar, se comparadas com rochas metamórficas.

Segundo Custodio & Llamas (1983b, p.1478), a qualidade da água subterrânea nas rochas vulcânicas, podem ser do tipo cálcico-magnésico-bicarbonatada nos basaltos e diabásios, e do tipo sódico-cálcico-bicarbonatada em rochas vulcânicas do tipo ácido.

De acordo com Cederstrom (1964), nas rochas sedimentares, a grande porosidade, na maioria das vezes, conduz a uma elevada permeabilidade. Nos arenitos, os interstícios aumentam a superfície de contato entre a rocha e a água. Caso seja menor a ocorrência de cimento entre os grãos de sílica, a quantidade de sólidos dissolvidos é baixa. Segundo Cederstrom (1964), os poros comportam expressivas somas de dióxido de carbono que garante a essas águas um pH em torno de 5 a 6. Os íons Cl^- , SO_4^- e Na^+ possuem aporte externo (como precipitação atmosférica) e raramente ultrapassam a quantidade de Ca^{+2} e Mg^{+2} . Caso o arenito possua densa matriz, é possível encontrar mais Cl^- , SO_4^- e Na^+ .

Nos argilitos e siltitos, a porosidade cai em função das finas camadas, da pressão mecânica e da profundidade em que se situam. A grande queda de porosidade se dá em profundidades superiores a 500 metros, devido ao processo diagenético. De acordo com Harvey (1982), o movimento da água e adsorção nesses aquíferos são muito lentos. Todavia, com o tempo de contato entre a rocha e a água, ocorre grande trocas de íons, particularmente de sulfatos e cloretos. Conforme Harvey (1982), sulfatos e cloretos ficam retidos com difícil remoção. Altas quantidades de sulfato coincidem com metais alcalinos terrosos, assim como o

cloreto se associa ao sódio. A presença de ferro é notória, bem como o baixo pH.

De acordo com Harvey (op. cit.), em materiais inconsolidados, como areias e cascalho, comuns em depósitos aluviais, ocorrem aquíferos extremamente permeáveis, sendo influenciados pela natureza constituinte do material do ambiente de sedimentação (fluvial, marinho, eólico, lacustre). Conforme Custodio & Llamas (1983b, p. 1488), existe grande superfície de contato entre o sedimento e a água subterrânea e o longo tempo de exposição pode ocasionar um equilíbrio químico entre o sedimento e a água.

Segundo Harvey (1982), a qualidade dessas águas é afetada pela intromissão da cunha salina, fluxos fluviais ou intervenção humana. Águas de depósitos sedimentares inconsolidados são ricas em Ca^{+2} (50 a 200mg/l), Mg^{+2} (10 a 50mg/l) e alta concentração de SO_4^- (50 a 300mg/l), pois são ambientes redutores que mantêm baixo pH. Quando o material inconsolidado tiver origem em rochas ígneas, a quantidade de cloreto e sulfato, nas águas subterrâneas, não ultrapassa os 50 mg/l.

Conforme Harvey (1982), a água subterrânea em contato com carvão fica com sua qualidade alterada, devido o alto consumo de oxigênio do ambiente típico redutor. Segundo o mesmo autor, essas águas são ricas em H_2S , Fe^{+2} e Mn^{+2} . Harvey (1982) explica que alguns ácidos orgânicos se formam por reações bacteriológicas, baixando o pH, e que o dióxido de carbono reage com os cátions formando carbonatos, sendo que os alcalinos terrosos tendem a precipitar. Formam-se três tipos distintos de águas: sulfatada com muito cloro, carbonatada alcalina ou sulfetada com amônia.

5.12 Poluição da água subterrânea

A água superficial ou subterrânea, em estado natural, contém sais dissolvidos em proporções variadas, bem como colóides em suspensão, no caso das águas superficiais, que lhe conferem certa turbidez. Dessa forma, toda água necessita de um prévio tratamento antes de ser destinada a um uso específico. Os conceitos de qualidade e de potabilidade devem ser compreendidos, assim como os conceitos de poluição e contaminação da água.

Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), a poluição é definida quando a água for modificada em suas qualidades físico-químicas, por agente não natural, em

que tal alteração seja suficiente para extrapolar os limites de concentração dos constituintes para um determinado fim. Segundo Krebs (2004), o conceito de água poluída é relativo, pois dependendo do destino, a água pode ser útil para uma atividade e imprestável para outra.

Custodio & Llamas (1983b) consideraram a água poluída quando sua composição natural for alterada por ação antrópica, tal que a utilização fica restrita a alguns usos mais tolerantes. De acordo com Heath (1982), poluição de água subterrânea pode ocorrer por intrusão de água do mar em água doce dos aquíferos, disposição incorreta de resíduos na superfície da terra, uso de agroquímicos, bacias de decantação, tanques de armazenamento, e, confinamento de animais. A magnitude de qualquer problema de poluição depende da área afetada, quantidade de poluente envolvido, toxicidade e das características físico-químicas dos solos e rochas em que o poluente se move. Assim, pode se averiguar o efeito potencial do poluente sobre a água subterrânea.

Conforme Feitosa & Manoel Filho (1997), a água contaminada possui patógenos, apresenta substâncias tóxicas e/ou radioativas em quantidades prejudiciais às pessoas. Custodio & Llamas (1983b) asseguraram que a água contaminada possui uma grande alteração nas características originais, não podendo ser utilizada para abastecimento público por apresentar riscos à saúde. Por conseguinte, toda a água contaminada está poluída, mas nem toda a água poluída pode ser considerada contaminada, pois alguns usos podem ser implementados.

A poluição e a contaminação das águas subterrâneas podem ser geradas por atividades humanas na superfície do solo. Essas áreas afetadas variam de tamanho, sendo fontes de poluição pontuais ou difusas. De acordo com Heath (1982), um exemplo de fonte pontual são as fossas sépticas, e de fonte difusa são os vazamentos na rede de esgotamento urbano, locais de depósitos de lixo municipais e industriais. Uma fonte pontual está concentrada numa pequena superfície e uma fonte difusa se estende sobre uma grande superfície.

Conforme Harvey (1982) quase todas as substâncias são parcialmente solúveis em água e muitos rejeitos líquidos são altamente tóxicos, mesmo em pequenas concentrações. Segundo Heath (1982), a densidade de um líquido afeta seu movimento subterrâneo, como os derivados do petróleo, que são menos densos que a água. Substâncias menos densas tendem a se acumular no topo da zona saturada, espalhando-se numa película, formando uma pluma. Substâncias mais

densas, como as salmouras, movem-se para baixo, atravessando a zona saturada, até encontrar a primeira camada confinante.

Ainda de acordo com Heath (1982), as características minerais e físicas dos solos e rochas, pelos quais os poluentes movimentam-se, determinam o caminho tomado e a velocidade do movimento dos poluentes. Substâncias dissolvidas movem-se com a água. Todavia, muitas são retidas por adsorção, a exemplo de argilas e matéria orgânica, que podem adsorver metais-traço e poluentes orgânicos complexos, diminuindo suas concentrações conforme se movimentam em ambiente subterrâneo.

Conforme Custodio & Llamas (1983b), alguns aquíferos, por sua lenta circulação das águas, grande capacidade de adsorção e pequeno tamanho dos canalículos, podem demorar em apresentar poluição, pois possuem qualidades depurativas, que variam de aquífero para aquífero. Todavia, uma vez estabelecida, a poluição pode perdurar, tornando a regeneração do aquífero extremamente lenta, ou praticamente nula, conforme o poluente.

Dentro da problemática, Krebs (2004) afirmou que o maior problema da poluição das águas subterrâneas relaciona-se aos aquíferos não-confinados, especialmente em locais onde o nível freático é raso. Em relação aos aquíferos profundos e confinados, pode se dizer que estão mais protegidos de poluição superficial, a não ser em casos de poluentes muito tóxicos e persistentes, e poluição induzida pelos próprios poços quando mal executados.

De acordo com Custodio & Llamas (1983b), existem diferentes modos de contaminação das águas subterrâneas. Há contaminação direta quando a substância contaminante é introduzida diretamente no aquífero, como ocorre em poços de injeção ou em fossas sépticas. A contaminação indireta, com diluição, ocorre quando água poluída entra no aquífero por condições hidrodinâmicas específicas, como as produzidas por bombeamento e drenagens.

De acordo com Heath (1982), um aquífero confinado está naturalmente protegido contra a contaminação, pois possui uma camada confinante sobreposta. Essa proteção deixa de existir quando a confinação tem fim, pela perfuração de um poço, principalmente se o potencial hidráulico for inferior a de um aquífero sobreposto. Nesse caso, conforme é bombeada, a água do aquífero profundo, a água poluída do freático penetra. Custodio & Llamas (1983b) advertem que, em zonas costeiras, nas proximidades de lagos salgados e em aquíferos com água

salgada por debaixo da doce, o excessivo bombeamento pode propiciar que águas de má qualidade afetem a captação dos poços.

De acordo com Schoeller (1969, apud Custodio & Llamas, 1983b, p. 1906), as possíveis origens da poluição dos aquíferos são variadas. Entretanto, feito um resumo, podem ser apresentadas as seguintes atividades como as principais responsáveis:

- Atividades domésticas: produzem contaminação orgânica e biológica que tem origem nas fossas sépticas. Também deve ser considerada a utilização crescente de produtos químicos para uso doméstico, como os detergentes. Estas atividades aumentam a dureza e a concentração de cloreto nas águas.
- Atividades agrícolas: a utilização de adubos naturais, como os esterco, disponibiliza nitratos em superfície. A matéria orgânica consumida libera CO_2 , o qual contribui para o aumento da alcalinidade e diminuição do pH. Os corretivos como fosfatos e potássio, também podem influir nas águas. Outro aspecto da contaminação das águas subterrâneas por atividades agrícolas relaciona-se ao excesso de irrigação, resultando em dureza e alta salinidade.
- Granjas: contaminação de caráter orgânico e biológico, assim como as atividades domésticas, porém de intensidade e concentração maior. As pocilgas são os casos mais graves.
- Águas superficiais: contribuem com a recarga de aquíferos livres e semi-confinados. Dessa forma, águas contaminadas em superfície chegam direta ou indiretamente aos aquíferos.
- Águas salgadas: muito comum em zonas costeiras e de salmouras naturais, essas águas penetram nos aquíferos doces quando esses são super-explotados. Muitas vezes, essas águas são produtos de algumas atividades industriais.
- Atividades mineiras: contaminação essencialmente inorgânica relacionada à drenagem de águas ácidas de mina e lavadores de minérios. Também comum pela lixiviação de pilhas de rejeito, principalmente de resíduos com enxofre e matéria carbonosa.
- Atividades industriais: contaminação tão variada como a quantidade de ramos industriais. Nas indústrias metalúrgicas, siderúrgicas e mecânicas, é comum a liberação de metais pesados. A indústria química e petroquímica pode fornecer componentes orgânicos e inorgânicos altamente contaminantes. As indústrias alimentícias podem comprometer os aquíferos, despejando substâncias orgânicas e detergentes.
- Poços mal-construídos: forma de contaminação que é dada pouca importância. No entanto, esses poços põem, em comunicação, vários aquíferos, com águas de diferentes qualidades. Em poços mal-construídos, ou com revestimento corroído, é comum a entrada de água superficial de má qualidade.

Na Bacia do Rio Urussanga, próximo aos principais centros urbano-industriais, Criciúma e Içara, há grande concentração de empresas com potencial poluidor. Nessas cidades a taxa de urbanização também é grande, demandando grandes somas de água potável, assim o comprometimento das águas subterrâneas é crescente devido a essas e outras atividades.

Na Planície Fluvial do Rio Urussanga, a atividade econômica mais importante é a indústria da cerâmica vermelha. Todavia, há cerca de dois anos,

implementou-se o cultivo do arroz irrigado, necessitando de água. Buscaram-se as águas que são as águas ácidas do rio Urussanga. Essa prática, somada à utilização de agroquímicos de uso da rizicultura, recarrega o aquífero dessa unidade geomorfológica, comprometendo-o. Na Unidade Geomorfológica das Rochas Sedimentares, o plantio de fumo e as lagoas de decantação das mineradoras e indústrias químicas devem estar comprometendo o aquífero poroso.

Na área de Planície de Cristas Praiais com Dunas existe excelente aquífero. Entretanto, a excessiva utilização de ponteiros causa a sobre-exploração, permitindo o avanço da cunha salina. A Lagoa do Faxinal abastece parcialmente o Município de Içara e o Balneário Rincão. Neste expressivo corpo de água, ocorreu intromissão da cunha salina.

A medida mitigadora tomada pelo SAMAE do referido município, foi recorrer à água da CASAN, oriunda da Barragem do Rio São Bento, água destinada a abastecer Criciúma. Nesse episódio, ocorreu importação de água da Bacia do rio Araranguá para abastecer o núcleo urbano de Içara que está nos limites da BRU. Essa prática é vigente, principalmente no verão, quando os balneários de Içara recebem grande quantidade de turistas. Durante cadastramento de poços realizado pela CPRM nos anos de 2005 e 2006, constatou-se que existem cerca de cinco mil ponteiros somente nos balneários Esplanada e Campo Bom (Mapa 1). Com o passar do tempo, pode ocorrer intromissão da cunha salina ou esgotamento parcial do aquífero livre, necessitando de longa espera para recarga.

6 RESULTADOS: LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Conforme a metodologia proposta neste trabalho, para as atividades de campo, foram selecionados trinta pontos de coleta de água de naturezas distintas: poços tubulares, ponteiras, poços escavados e fontes ou nascentes. Cada poço tem profundidade distinta, apresenta uso singular, se localiza sobre rochas distintas e a geomorfologia pode influenciar na recarga do mesmo. Há diferente cobertura vegetal nas cercanias de cada zona de captação em cada poço, bem como possíveis atividades comprometedoras dos recursos hídricos. Com essas observações, segue lista de poços com suas características averiguadas em campo (Mapa 6).

6.1 Poços Tubulares (PT)

- PT 01: Localizado na comunidade do Rio da Areia, Município de Pedras Grandes. Poço profundo construído sobre terreno coluvionar de morro granítico, que está localizado 200 metros à leste do poço (Foto 4). A água atende a demanda de frigorífico, tanto para o consumo dos funcionários como para fervura em caldeiras. O poço está em terreno plano, circundado por gramíneas com criação de gado bovino. O proprietário informou que a maioria da água do bairro vem de fontes, que estão localizadas sobre morros graníticos. A água utilizada pelo referido frigorífico é de boa qualidade, pois órgãos ambientais e o Ministério da Agricultura fiscalizam seu padrão, por tratar-se de uma agroindústria.

- PT 02: Poço profundo localizado na comunidade de São João da Urussanga Baixa, Município de Treze de Maio. Na localidade predominam atividades do setor primário e turismo religioso. Sobre os morros, com litologia de granito, predomina a pecuária. Nos estreitos depósitos aluvionares de pequenos afluentes da margem esquerda do rio Urussanga, a rizicultura ganha espaço. O poço possui 35 metros de profundidade e foi construído na base do Morro da Santa, a 43 metros de altitude, para abastecer 16 famílias (Foto 5). A proteção da bomba e do local de captação se faz com uma cerca. Foi instalada caixa d'água de 20 mil litros.



Foto 4: Instalações do frigorífico na margem esquerda do Rio Urussanga. A seta amarela indica o local do poço profundo PT 01. Aos fundos, morro granítico.

- PT 03: Localizado no bairro de Estação Cocal, Município de Morro da Fumaça, sobre planície fluvial do rio Urussanga. Esse poço tubular foi construído para atender a demanda de posto de combustível e lavação de carros. De acordo com o proprietário, o poço possui 100 metros de profundidade e nunca ocorreram problemas referentes ao uso de sua água em banheiros da loja de conveniências. O poço não possui cerca protetora. A área de captação está circundada por área urbanizada e possui o agravante de ter sido construído 5 metros a leste de córrego que escoar todo o esgoto do bairro (Foto 6).

- PT 08: Localizado na comunidade de Rio Maior, Urussanga, esse poço tubular fica na lateral de um dique de diabásio que vem sendo explorado para retirada de brita. Com uma profundidade de 140 metros, esse poço foi construído para abastecer residências e um depósito de explosivos. A área de captação é cercada e está rodeada por gramíneas, açudes com peixes e morros com vegetação secundária. Dessa forma, não há indícios de fontes de contaminação para essa água subterrânea (Foto 7).



Foto 5: Poço tubular (PT 02) na localidade de Urussanga Baixa, na base de morro constituído de granito. A seta indica o local da bomba e do poço.



Foto 6: Poço tubular (PT 03) na localidade de Estação Cocal. O poço foi construído nos fundos de pavilhão e está circundado de tonéis vazios de substâncias orgânicas, como óleos e querosene. A seta amarela indica o local do poço, a vermelha aponta para o córrego com esgoto doméstico.



Foto 7: PT 08 representado pela seta amarela. O local está bem protegido por cerca e vegetação circundando o poço.

- PT 11: Localizado na área central do Município de Urussanga sobre saibro de origem granítica, esse poço tubular está atualmente inutilizado, pois a empresa moveleira, que fazia seu uso, está temporariamente parada (Foto 8). Essa água subterrânea era utilizada no processo industrial moveleiro para lavar madeira e compensados. O poço fica numa topografia rebaixada, em relação à fábrica e às cercanias residenciais.



Foto 8: PT 11 indicado na seta amarela, atrás da goleira do campo de futebol. O pavilhão industrial está apontado em vermelho. Notar o corte no saibro granítico gerando uma ruptura de declive.

- PT 13: Localizado em Rio Galo, Urussanga, esse poço tubular assenta-se sobre terreno argiloso da Formação Rio do Sul (Foto 9). Com 140 metros de profundidade, o crivo da bomba capta água do embasamento cristalino e atende a

demanda de empresa especializada em descascar e lavar arroz. O proprietário afirma que a água é excelente, não possui gosto, cor ou cheiro e, como serve para uma indústria alimentícia, freqüentemente, são realizados rigorosos testes de qualidade. A empresa possui outros dois poços próximos, com menor produtividade. O local do poço é mais elevado que as adjacências, fato esse que, somado a não contribuição de outras fontes de poluição, pode manter a qualidade da água subterrânea.



Foto 9: Poço tubular (PT 13) ao lado de pavilhão industrial. Não existe cerca protetora e o terreno circundante não possui vegetação.

- PT 19: Localizado no bairro São Pedro, Urussanga, esse poço se assenta sobre a planície fluvial na margem direita do Rio Urussanga, a cerca de 300 metros do canal, adjacente ao dique de diabásio. Esse poço tubular foi perfurado propositalmente a 170 metros na tentativa de se captar água de boa qualidade, pois a empresa do ramo de alumínio e plásticos (Foto 10) utiliza essas águas para resfriamento de máquinas. O engenheiro da empresa afirmou que, para consumo dos funcionários a água, é fornecida pelo SAMAE do município. Nos fundos da empresa, localiza-se um dique de diabásio com morfologia positiva. Além da empresa que se utiliza do poço, a área compreende pequenas propriedades rurais com predomínio do cultivo de milho.



Foto 10: Pátio da empresa que se utiliza do poço tubular PT 19, em Urussanga. Na foto, aparece a rodovia que liga Urussanga a Morro da Fumaça.

- PT 20: Perfurado sobre dique de diabásio, esse poço tubular abastece granja de frangos na localidade de Rio Comprudente, Município de Urussanga (Foto 11). Os terrenos adjacentes à empresa são da Mata Atlântica secundária, com capoeirão e gramíneas circundando o poço. Como o poço fica no topo de colina vegetada, não há indícios de fontes da contaminação próximas a ele.



Foto 11: No topo de colina sobre dique de diabásio, localiza-se grande empresa do ramo de avicultura que se serve da água do poço tubular PT 20 para dessedentação animal.

- PT 23: Poço tubular, perfurado em rochas da Formação Rio do Sul, localizado no centro do Município de Cocal do Sul, em frente da Catedral. Foi construído para atender a demanda de posto de combustível, que lava, em média, cinquenta automóveis por dia (Foto 12).



Foto 12: Posto de combustível, na área central de Cocal do Sul, que se utiliza da água do poço tubular PT 23 para lavar veículos.

A água dos banheiros e dos bebedouros é fornecida pelo SAMAE do município. Nas adjacências do poço, não existe expressiva atividade industrial, potencialmente contaminadora das águas subterrâneas. Na área do posto, predomina o uso comercial e residencial do solo, não sendo encontradas fossas sépticas, pois há sistema coletor do esgoto urbano.

- PT 29: Poço tubular localizado em elevação de granito, no centro do Município de Morro da Fumaça. A água, retirada do aquífero fraturado com modelado de dissecação das “Serras do Leste Catarinense”, abastece o Hospital São Roque, ficando acondicionada em duas caixas de 100 000 litros. O poço foi construído por empresa especializada, está bem vedado, captando água subterrânea a 80 metros de profundidade (Foto 13). O terreno circundante do poço é naturalmente coberto com vegetação e os prédios distam mais de 100 metros. Entretanto, o local da perfuração está topograficamente rebaixado em relação às instalações do referido hospital.



Foto 13: No meio de vegetação densa, nos fundos do Hospital do Morro da Fumaça, está localizado poço tubular com 80 metros de profundidade.

- PT 30: Está localizado na planície fluvial formada pelo Rio Urussanga e seus afluentes principais da margem direita, rios Ronco D'água e Linha Anta. Essa planície é um encharcado natural, tendo sido parcialmente aterrada e drenada no Bairro Capelinha, Morro da Fumaça, para construção de uma fábrica de molduras junto com um descascador de arroz. O empresário proprietário afirma que o poço possui profundidade de 140 metros e a água servia para lavar arroz e para o resfriamento de caldeiras (Foto 14). No entanto, a água não se apresentou adequada para os referidos usos, pois é excessivamente salobra, sendo ruim para lavagem do arroz e para as caldeiras, que apresentavam incrustações freqüentemente, dificultando a regulação dos equipamentos e comprometendo o processo industrial. A solução encontrada pela empresa, para alimentar as caldeiras, foi a de construir açudes para captar água do aquífero livre.



Foto 14: Poço tubular PT 30 (seta amarela) que abastecia parcialmente fábrica de molduras e descascador de arroz.

- PT 38: Localizado na área central do Município de Içara, perfurado sobre rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, esse poço abastece posto de combustível, lavagem de automóveis e quatro salas comerciais adjacentes. O poço está protegido por caixa de concreto no pátio do posto (Foto 15), sendo de construção recente. Mesmo a área sendo urbanizada, a única fonte potencial poluente das águas subterrâneas, eventualmente, é o vazamento dos tanques de combustíveis enterrados.



Foto 15: Proteção do poço tubular de posto de combustível e comércio adjacente.

- PT 64: Localizado na área rural do Município de Içara, perfurado sobre rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, esse poço tubular tem a finalidade de abastecer duas residências, e uma delas contém pequeno aviário. Não há outra

atividade agrícola nem industrial próxima das propriedades que contém o poço, que está sobre colina vegetada com gramíneas (Foto 16).



Foto 16: PT 64 sob caixa d'água, no alto de colina coberta com gramíneas, apontado na seta amarela. Atrás da caixa d'água, localiza-se um aviário e, à esquerda, uma das referidas residências.

6.2 Ponteiros (PO)

- PO 04: Localizada no Bairro Arroio da Cruz Primeiro, divisa dos Municípios de Içara e Jaguaruna, sobre modelado de cristas praiais com dunas, esta ponteira é utilizada para abastecimento urbano-residencial (Foto 17). Recentemente, a profundidade da ponteira foi aumentada de 23 metros para 75 metros, pois a água começou a apresentar coloração e gosto. O proprietário afirma que, atualmente, a água não apresenta gosto, cheiro ou cor. As propriedades adjacentes à ponteira são de terrenos baldios, naturalmente vegetados, sem indícios de potenciais fontes de contaminação da água subterrânea.



Foto 17: Ponteira (PO 04) alocada sobre terreno arenoso sem proteção da área de captação.

- PO 08: Complexo com 12 ponteiras, com cerca de 20 metros de profundidade, está localizado sobre crista praial de idade pleistocênica (Foto 18). Foi construído para suprir a demanda do Balneário Campo Bom durante todo o ano, sendo que, na temporada de verão, ocorre bombeamento de 25000 litros por hora. Os depósitos sedimentares demonstram excelente potencial aquífero, fato relacionado à existência de lagoa a montante da área de captação. Na temporada de verão do ano 2007/2008, a sobre-exploração ocorreu, fato esse percebido pelo rebaixamento do nível d'água da referida lagoa e ressecamento permanente de uma lagoa menor adjacente. No local exato das ponteiras, a vegetação de restinga predomina e não existe potencial fonte de contaminação das águas subterrâneas, pois as residências do balneário estão topograficamente mais baixas. A água retirada não recebe tratamento prévio, sendo diretamente acondicionada em duas caixas d'água de 20.000 litros e distribuída para a população. Todo o procedimento é controlado por empresa particular.



Foto 18: Uma das doze ponteiras do complexo PO 08 no Campo Bom (seta amarela).
A seta vermelha mostra crista praial pleistocênica com vegetação da restinga.
Atrás desta crista, existe lagoa de água doce.

- PO 19: Ponteira, alocada sobre terreno arenoso de idade holocênica, atende a duas residências e serve para todo o uso doméstico, sem passar por prévio tratamento (Foto 19).



Foto 19: Ponteira simples de abastecimento residencial, cadastrada na localidade de Torneiro, Jaguaruna.

Localiza-se no Bairro Torneiro, Jaguaruna e, de acordo com os proprietários, possui 6 metros de profundidade. A água é límpida, sem cheiro, mas possui gosto salobro. A fossa séptica da residência fica a 60 metros da ponteira e

não existe outra potencial fonte de contaminação das águas, pois os terrenos circundantes apresentam lavoura de mandioca e reflorestamento de eucaliptos.

- PO 21: Ponteira está localizada em área rural do Bairro Pedreira, Município de Içara, sobre morfologia aplainada de areias holocênicas, entre crista pleistocênica e a Lagoa do Rincão. Essa ponteira possui captação com 8,5 metros de profundidade (Foto 20). A água não apresenta gosto, cheiro ou cor e abastece uma residência, um pequeno aviário e serve para dessedentação de bovinos. A área circundante é gramada e apresenta a atividade pecuária potencialmente comprometedora da qualidade das águas subterrâneas.



Foto 20: Ponteira 21 indicada pela seta amarela. Notar o terreno plano, suavemente inclinado, recoberto por gramíneas.

- PO 23: Ponteira está localizada no bairro Lagoa dos Esteves, Içara, em terreno plano de idade holocênica. A água é utilizada por três residências e uma mercearia, sem passar por prévio tratamento. As fossas sépticas das residências estão próximas da bomba de captação, cerca de 20 metros, onde existe caixa protetora de concreto (Foto 21). A ponteira está 50 metros da Lagoa dos Esteves, num nível topográfico mais alto em 1,5 metro. Não há atividade industrial e agrícola próxima da ponteira.

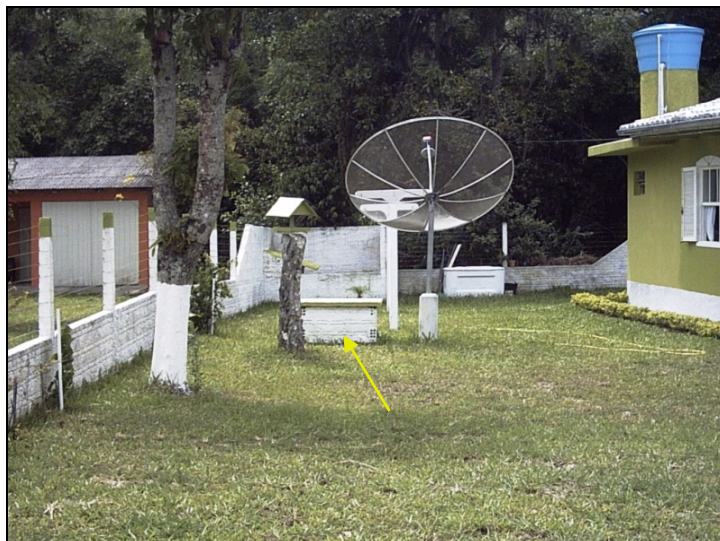


Foto 21: Ponteira para uso urbano-residencial protegida por caixa.
Nos fundos das propriedades, existe vegetação de restinga.

6.3 Poços Escavados (PE)

- PE 16: Poço escavado de uso residencial, está situado na localidade de Rio Carvão do Meio, Urussanga (Foto 22). O poço foi aberto em material eluvial de rochas da Formação Rio Bonito, sendo o modelado do terreno o das Rochas Sedimentares. De acordo com o proprietário, a água do poço foi substituída pela água fornecida pelo SAMAE do referido município e, também, se utilizam de águas de fontes.



Foto 22: A desconfiança com a qualidade da água consumida, dos poços escavados, próximos ao leito do Rio Carvão, levou a população a consumir água da empresa distribuidora e abandonar poços, como o demonstrado na foto.

Essa mudança na captação da água ocorreu porque os poços começaram a perder credibilidade, assim que os recursos hídricos superficiais demonstraram-se impactados por atividade carbonífera.

- PE 21: Na localidade rural de Rio Caeté, Urussanga, especificamente na confluência dos rios Caeté e Deserto, situa-se a propriedade com esse poço. Ele foi construído sobre solo de rochas da Formação Rio Bonito. O local é predominantemente agropastoril (Foto 23), com atividade madeireira complementar e uma empresa mineradora de grande porte. Os moradores afirmam que, antes da instalação da mineradora, a água para consumo era preferencialmente de poços escavados. Hoje, os mesmos optam pelas fontes ou pela água encanada, desconfiados com a qualidade das águas de poços escavados, já que os rios foram impactados e podem oferecer água poluída para os poços.



Foto 23: Propriedade onde localiza-se o PE 21 (seta amarela) na localidade de Rio Caeté, Município de Urussanga. Aos fundos, pode ser observado o *sill* do Montanhão.

- PE 41: Poço escavado está localizado na comunidade rural da Linha Batista, Criciúma. A água abastece residência, não apresenta cheiro ou cor, mas é levemente salobra. O proprietário afirma que perfurou camada de arenito para fazer o poço, o mesmo está localizado sobre substrato da Formação Rio Bonito, com 13 metros de profundidade. Morfologicamente, o poço está alocado numa colina, nos fundos da residência, sem atividades potencialmente poluidoras nas adjacências (Foto 24). Essa colina é a elevação que separa os rios Linha Anta e Ronco D'água.



Foto 24: Poço escavado 41, nos fundos de propriedade. Atrás da residência, existem dois pavilhões que servem para guardar equipamentos agrícolas.

- PE 66: Localizado no Bairro Esplanada, Içara, esse poço escavado abastece cinco famílias de funcionários de uma olaria (Foto 25). O poço possui 11 metros de profundidade e foi aberto no saibro granítico. A água não apresenta cor, odor e gosto. As adjacências comportam fossas sépticas das residências. A área não possui demais atividades potencialmente poluidoras da água subterrânea.



Foto 25: Poço escavado 66 no bairro Esplanada. O poço está precariamente cercado.

- PE 72: Poço escavado, situado na localidade de Rio Acima, Içara, com água para uso residencial, não apresenta gosto, odor e cor. O poço possui 10 metros de profundidade e aloca-se na base de duna com idade pleistocênica, 80 metros à oeste do leito do Rio Urussanga. Quando ocorrem fortes precipitações, esse é o único poço da comunidade que não apresenta turbidez, e a água é cedida

aos vizinhos. Nas adjacências do poço, não existe fossa séptica, atividade agrícola e industrial que possa comprometer a qualidade das águas, pois o mesmo foi construído no meio de uma chácara (Foto 26).



Foto 26: PE 72, construído há 20 anos, serve para uso domiciliar de uma família. Todavia, supre a necessidade dos vizinhos quando ocorrem fortes chuvas, uma vez que os demais poços ficam com águas turvas.

6.4 Fontes ou Nascentes (FT)

- FT 01: Fonte está localizada no extremo norte da Bacia do Rio Urussanga, sobre substrato da Formação Rio do Sul, na localidade de São João do Rio Maior. Atualmente, suas águas são aproveitadas para três açudes e para encher piscina (Foto 27). O local da fonte não apresenta mata ciliar, mesmo assim ela é altamente produtiva. A família, que usava a água da fonte para beber, abdicou do uso, pois 100 metros à oeste dessa nascente instalou-se uma indústria de embalagens plásticas, que construiu um lago de decantação para tratamento de seus efluentes. Além da referida indústria, ao redor da fonte, pasta livremente um rebanho bovino.



Foto 27: A seta amarela aponta para a FT 01, a branca para um dos referidos açudes e a verde indica local onde a indústria de plásticos se instalou.

- FT 04: É a principal nascente do Rio Cocal (Mapa 1), afluente da margem direita do Rio Urussanga. Está localizada na comunidade de Linha Ferreira Pontes (Mapa 1), Município de Cocal do Sul, protegida por vegetação nativa de grande porte. Essa fonte localiza-se no contato do *sill* do Montanhão com as rochas sedimentares do topo da Formação Irati. Aproveitando-se da boa qualidade da água e ausência de fontes de poluição, o SAMAE de Cocal do Sul construiu, em parceria com a EPAGRI, um barramento das águas dessa fonte (Foto 28), gerando um pequeno lago. Essas águas abastecem o centro urbano do referido município e parte da zona rural de Rio Caeté e Rio Deserto, comunidades pertencentes ao Município de Urussanga.



Foto 28: Da elevação, cujo topo é o limite entre os Municípios de Cocal do Sul e Siderópolis, na vertente leste, vê-se barragem para captação de água na meia encosta (seta amarela).

- FT 06: Localizada no alto do Morro Santa Luzia, Município de Urussanga, essa fonte abastece seis sítios, sendo suas águas empregadas para açudes, dessedentação animal e uso doméstico. O substrato é de diabásio, pois o referido morro é um dique NW-SE, o principal da bacia. A água é captada a uma altitude de 160 metros, o local é protegido por mata nativa e cerca (Foto 29), impedindo a entrada de animais. O posicionamento da fonte no relevo local faz com que não exista atividade econômica potencialmente comprometedora da qualidade de suas águas.



Foto 29: A fonte 06 situa-se 20 metros desse ponto, atrás da cerca, no meio da vegetação densa.

- FT 09: Localizada sobre solo de rochas sedimentares (Formação Rio do Sul) na localidade de Rio Carvão de Baixo, Urussanga, essa fonte está localizada em cabeceira de vale vegetada. De acordo com o proprietário do terreno, a fonte foi revestida com dreno de 1000 milímetros (Foto 30), e aprofundada em 3 metros, o que manteve a água límpida, mesmo com chuvas. No local, existe pecuária bovina e cultivo de milho em topografia mais elevada que a fonte. No milho emprega-se uréia para acelerar o crescimento, constituindo uma possível atividade poluidora, juntamente com o gado bovino.



Foto 30: Cabeceira de vale com a fonte 09, que foi alocada em estrutura, para proteger a qualidade de suas águas e facilitar o bombeamento. A água é translúcida, sem odor e gosto.

- FT 11: Na localidade de Belvedere, Urussanga, sobre o topo tabular do *sill* do Montanhão, a uma altitude de 500 metros encontra-se a fonte 11 que abastece esse núcleo agro-pastoril. A referida fonte é uma das cabeceiras do Rio Carvão e está protegida por vegetação nativa (Foto 31). Não se encontra próxima de nenhuma atividade econômica que possa comprometer a qualidade de sua água.



Foto 31: A fonte 11 está circundada por vegetação densa. Após sua captação para uso residencial, a água forma açude que drena para o Rio Carvão.

- FT 36: Essa fonte constitui no represamento do Rio Vargedo, Morro da Fumaça, efetuado pela CASAN, no intuito de abastecer o referido município (Foto 32). O rio nasce quatro quilômetros à nordeste do represamento, sobre granito, circundado por vegetação nativa. A barragem situa-se na planície fluvial, sendo

devidamente cercada por grades, impedindo a entrada de animais e até mesmo de pessoas não autorizadas. Existe criação bovina, à montante do ponto de captação, todavia a água passa por estação de tratamento.



Foto 32: Represamento das águas do Rio Vargedo. Percebe-se que existem poteiros entre as cabeceiras do rio (seta amarela) e o local de captação.

- FT 43: Localizada em depressão entre duas dunas fixas de idade pleistocênica, na localidade de Urussanga Velha (Mapa 1), em Içara, essa fonte está devidamente protegida por cercas. A água é captada para abastecimento de quatro famílias, sendo que as mesmas construíram uma pequena barragem (Foto 33) com filtro para diminuir a turbidez da água. A lâmina de água na represa é de 50 centímetros, e a mesma possui 10 metros quadrados. A área mais alta é naturalmente vegetada, não possuindo fonte de poluição visível.



Foto 33: A FT 43 abastece famílias na zona rural de Içara. A água é bem acondicionada, mas não passa por prévio tratamento antes de ser usada. Os moradores elogiam a qualidade da mesma.

7 RESULTADOS: PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Quando se estuda fenômenos ambientais complexos em sua essência, é comum ter de lidar com múltiplas variáveis, simultaneamente, de modo a compreender as relações de interdependência que existem entre elas, ou não.

Dados de levantamentos geoquímicos são passíveis de interpretação estatística multivariada. De acordo com Neto & Moita (1998), estudos químicos compõem-se de muitas variáveis, algumas redundantes ou menos importantes para algumas análises detalhadas. O pequeno grupo de variáveis, relevante para cada estudo, deve ser selecionado por critérios mais subjetivos do que objetivos, de acordo com a necessidade de cada pesquisa e experiência do autor.

Ainda de acordo com os autores supracitados, a redução do número de variáveis numa pesquisa, por critérios objetivos, pode ser conseguida através da análise de componentes principais (ACP). Numa plotagem bidimensional euclidiana, é possível se diagnosticar vetores com a devida importância das variáveis para cada caso examinado, bem como, redundâncias. A análise de agrupamento (*cluster analyses*) reúne casos e variáveis em grupos de similaridade que podem ser vistos num dendrograma. Dessa forma, também, pode se selecionar casos e variáveis que se queira detalhar.

Nesta pesquisa, diante da quantidade de dados geoquímicos, obtidos através de análises das águas subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga, tornou-se aplicável a análise estatística multivariada. No entanto, de acordo com Landim & Lourenço (2004), deve ela ser precedida da montagem de uma matriz de dados, onde as variáveis independentes são dispostas nas colunas e as dependentes nas linhas, como segue no Quadro 11.

Quadro 11: Quadro geral com os dados brutos das amostras da BRU.

ESTACÃO	GRUPO	UTM E	UTM N	pH	Cond. (mS/cm)	Alc.Total	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	Al (mg/l)	Ca (mg/l)	Fe (mg/l)	Mg (mg/l)	Mn (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)
PT-01-PS-ur	PT	671907	6837960	6,5	129	28,2	8,8	12,2	1,36	1,63	0,26	2,1	0,000	1,96	15,67
PT-02-TM-ur	PT	673591	6835855	6,9	83	14,8	6,6	12,3	0,78	0,23	0,00	0,34	0,140	1,14	13,33
PT-03-MF-ur	PT	671856	6835308	6,8	223	66,8	9,6	13,6	1,15	3,12	0,71	4,38	0,000	2,70	18,68
PT-08-UR-ur	PT	665178	6851012	6,8	248	73,3	10,1	25,5	1,64	6,38	0,15	5,47	0,000	1,43	15,8
PT-11-UR-ur	PT	664000	6844306	5,9	137	37,6	8,5	14,3	1,62	0,83	0,04	2,96	0,000	4,41	7,44
PT-13-UR-ur	PT	664672	6839115	5,5	91	7,9	9,7	11,9	0,44	0,25	0,00	2,01	0,000	4,69	6,91
PT-19-UR-ur	PT	668158	6840082	7,4	419	117,8	9,6	31,6	1,17	19,27	0,48	6,96	0,000	1,63	42,53
PT-20-UR-ur	PT	669035	6836215	7,3	354	107,4	17,6	14	1,31	20,5	0,53	4,78	0,000	1,92	31,28
PT-23-LS-ur	PT	663615	6834689	7,6	425	110,4	29,1	22,8	2,1	11,19	0,05	3,29	0,000	2,30	58,9
PT-29-MF-ur	PT	674411	6829424	5,6	163	13,2	24,9	0	0,91	0,77	0,00	2,98	0,000	2,88	19,99
PT-30-MF-ur	PT	675810	6827614	7,7	1858	121,8	498,6	82,5	1,06	62,28	0,26	22,58	0,000	3,32	205,75
PT-38-IC-ur	PT	664689	6831766	7,0	210	61,9	16,5	15,6	0,39	2,13	1,68	2,19	0,480	6,98	17,28
PT-54-IC-ur	PT	666828	6824830	6,8	261	72,8	24,1	17,5	1,09	1,35	2,16	6,66	0,310	3,05	28,6
PO-04-JG-ur	PO	681180	6818440	5,6	187	4,7	14,8	13,3	0,37	5,82	0,05	4,01	0,000	7,88	10,09
PO-08-JG-ur	PO	686310	6820694	5,0	98	1,0	22	12	0,59	0,3	0,00	1,75	0,000	0,86	11,23
PO-19-JG-ur	PO	676488	6814268	5,8	137	3,3	19,6	0	0,19	1,52	0,26	2,92	0,510	0,38	13,89
PO-21-IC-ur	PO	670959	6811283	6,7	82	8,9	11,6	12,1	0,84	3,15	0,00	1,15	0,000	1,16	5,47
PO-23-IC-ur	PO	666991	6808405	4,9	54	0,0	8,2	0	0,09	0,37	0,00	1	0,000	0,79	4,89
PE-16-UR-ur	PE	660501	6848395	5,2	117	1,3	10,2	12,6	0,28	0,96	0,00	3,75	0,000	2,13	7,49
PE-21-UR-ur	PE	660449	6840518	4,7	92	0,0	6,9	21,6	3,5	0,56	0,46	1,92	0,000	5,78	2,95
PE-41-CR-ur	PE	666948	6828989	4,8	132	0,0	17,4	12,8	1,73	0,75	0,30	3,89	0,000	1,68	8,94
PE-66-IC-ur	PE	677224	6823720	4,9	103	0,0	14,6	12,6	2,07	0,59	0,07	1,64	0,370	1,82	8,87
PE-72-IC-ur	PE	675010	6817028	5,4	165	4,6	20,1	11	1,62	3,34	0,18	2,55	0,130	2,87	13,34
FT-01-UR-ur	FT	666311	6852782	5,2	37	0,7	5	0	2,38	0	0,57	0,98	0,000	1,02	2,79
FT-04-LS-ur	FT	657505	6835810	6,3	93	26,7	6,1	13,6	2,41	0,33	0,34	3,07	0,000	0,82	6,11
FT-06-UR-ur	FT	665452	6840990	6,3	52	5,0	7,6	14,8	0,24	0	0,41	0,92	0,000	3,51	5,72
FT-09-UR-ur	FT	663327	6846426	5,6	73	7,6	6,4	0	1,91	0	0,06	1,85	0,000	1,44	6,41
FT-11-UR-ur	FT	656510	6847020	6,7	72	15,8	4,2	19,8	2,14	0,32	0,19	2,26	0,000	1,16	4,32
FT-36-TM-ur	FT	678170	6833223	6,6	68	7,9	8,7	13,5	1,1	0,57	0,56	1,33	0,000	1,60	7,09
FT-43-IC-ur	FT	673664	6815631	6,3	105	3,3	15,2	13	0,35	0,68	0,22	3,83	0,000	0,45	11,96

A etapa que segue, após montagem do quadro, é a transformação dos dados com a padronização e a normalização. Neste estudo, há uma variável com distribuição normal, que é o pH. Essa variável teve sua normalidade averiguada pelo teste Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) e, dessa forma, não precisa ser padronizada e normalizada como todas as demais 11 variáveis presentes no Quadro 11.

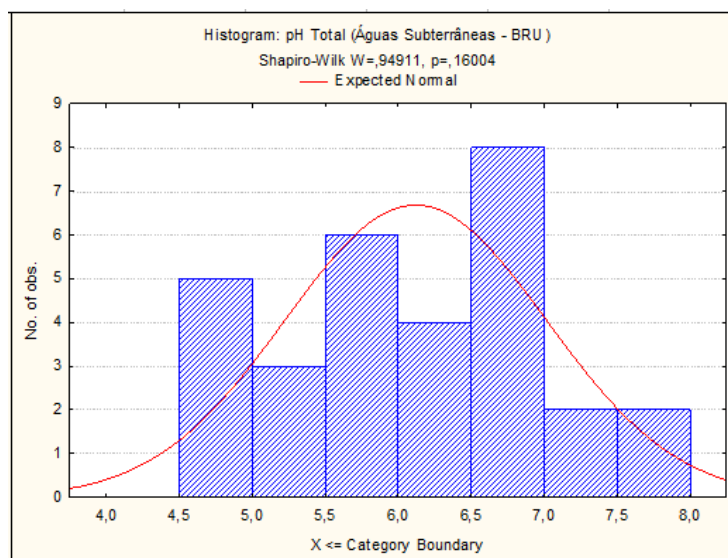


Figura 10: Verificação da normalidade da variável pH através do software *Statistica*. Notar, no cabeçalho do histograma, que o valor de Shapiro-Wilk (p) é maior que 0.05 (Neto & Moita, 1998).

Além da variável pH, as demais variáveis (condutividade elétrica, alcalinidade total, cloro, sulfatos, alumínio, cálcio, ferro, magnésio, manganês, potássio e sódio) de início, tiveram a normalidade averiguada no software *Statistica*, no intuito de se verificar se apresentam distribuição normal, e assim, dispensar a

padronização e normalização. Como segue o exemplo da Figura 11 (a e b), o resultado do teste em histograma pelo resultado de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) apontou que as onze variáveis não tinham distribuição normal.

Utilizou-se o recurso da padronização para comparar a distribuição das variáveis. Complementar a esta padronização, foi feito o ajuste à distribuição normal uma vez que é imprescindível para poder se utilizar os dados das demais variáveis para análise estatística. Optou-se pelo tipo de normalização que deixasse os dados aptos para análise multivariada, no caso, logarítmica (log 10), arco seno e raiz.

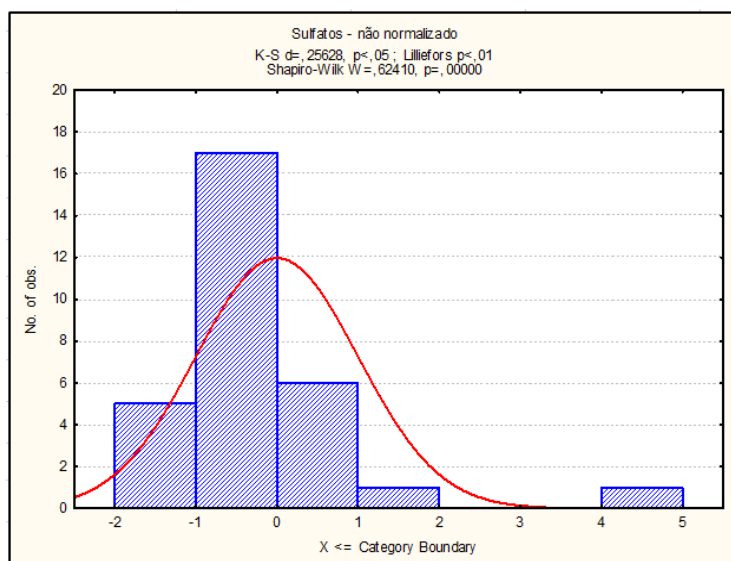


Figura 11a: Resultado do teste de normalidade da variável 'sulfatos', que não apresentou sequência normal para os trinta casos analisados neste estudo.

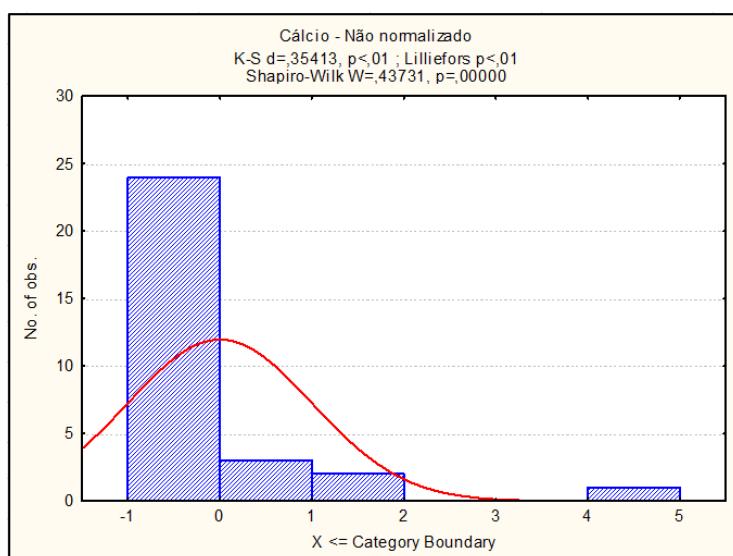


Figura 11b: Resultado do teste de normalidade que servem como exemplo das onze variáveis que não apresentaram sequência normal para os trinta casos analisados neste estudo. Nesse histograma, foi analisada a normalidade da variável cálcio, também não apresentando sequência normal. Como as outras variáveis independentes, essa também não apresentou valor de 'p' maior que 0,05.

Após a verificação em histograma que somente a variável pH tinha distribuição normal, se fez a padronização e normalização no software *Excel* para as demais. Esse é o exemplo demonstrado no Quadro 12, com o tratamento dos índices de cloro, optando-se pela normalização em arco seno. Tal procedimento foi realizado no *Excel* pelo implemento da técnica do “Chi” quadrado.

A primeira etapa da aplicação dessa técnica consiste em transformar os dados de mg/l em unidades adimensionais (transformação em ‘Z’ - adimensional, como no Quadro 12). A segunda etapa é a da rotulagem e classificação em ordem crescente dos dados transformados. Dessa maneira, os dados são passíveis do emprego de uma técnica de normalização. No Quadro 12, o dado 8,8 mg/l de Cl, expresso na primeira linha, foi transformado em 0,72 (transformação adimensional do arco seno 0,62) e rotulado em ordem crescente.

A partir do exemplo citado para a variável cloro, realizou-se normalização para as demais variáveis (Quadros 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22). Para as variáveis condutividade elétrica, ferro total e manganês, a normalidade não foi atingida por meio de nenhuma das técnicas estatísticas constantes do software *Statistica*. Todavia, para as duas primeiras, conseguiu-se normalizar os dados pela técnica de “Chi” quadrado, o mesmo não acontecendo para a variável manganês.

**Quadro 12: Padronização dos dados da variável cloro total feita no *Excel*.
Técnica: arco seno.**

Cloro (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arco seno	Transform. Z	Rotulagem
8,8	-0,23	-0,28	0,58	0,62	0,72	-1,67
6,6	-0,25	-0,27	0,31	0,32	0,36	-1,47
9,6	-0,22	-0,26	-0,17	-0,18	-0,20	-1,44
10,1	-0,21	-0,26	-0,63	-0,68	-0,78	-1,22
8,5	-0,23	-0,25	0,80	0,82	1,06	-1,19
9,7	-0,22	-0,25	-0,27	-0,28	-0,32	-1,11
9,6	-0,22	-0,24	-0,17	-0,18	-0,20	-0,95
17,6	-0,13	-0,23	-0,95	-1,25	-1,44	-0,91
29,1	0,00	-0,23	-0,73	-0,83	-0,95	-0,89
24,9	-0,05	-0,23	-0,23	-0,23	-0,27	-0,78
498,6	5,28	-0,23	0,79	0,91	1,05	-0,32
16,5	-0,14	-0,22	-0,71	-0,79	-0,91	-0,27
24,1	-0,06	-0,22	-0,86	-1,03	-1,19	-0,21
14,8	-0,16	-0,22	0,79	0,91	1,04	-0,20
22	-0,08	-0,21	-0,01	-0,01	-0,01	-0,20
19,6	-0,11	-0,21	0,68	0,75	0,86	-0,01
11,6	-0,20	-0,20	-0,82	-0,97	-1,11	0,13
8,2	-0,23	-0,16	0,94	1,22	1,41	0,36
10,2	-0,21	-0,16	-0,70	-0,78	-0,89	0,58
6,9	-0,25	-0,16	0,58	0,62	0,71	0,71
17,4	-0,13	-0,14	-0,99	-1,45	-1,67	0,72
14,6	-0,16	-0,13	0,89	1,11	1,27	0,83
20,1	-0,10	-0,13	0,95	1,25	1,44	0,86
5	-0,27	-0,11	-0,96	-1,28	-1,47	1,04
6,1	-0,26	-0,10	-0,18	-0,18	-0,21	1,05
7,6	-0,24	-0,08	0,97	1,32	1,51	1,06
6,4	-0,26	-0,06	0,12	0,12	0,13	1,27
4,2	-0,28	-0,05	-0,87	-1,06	-1,22	1,41
8,7	-0,23	0,00	0,66	0,72	0,83	1,44
15,2	-0,16	5,28	0,49	0,51	0,58	1,51
29,08				0,00		
88,92				0,87		

Quadro 13: Padronização dos dados da variável condutividade.
Técnica: log 10.

Cond. (mS/cm)	Transform. Z	Rotulagem	log 10	Transform. Z	Rotulagem
129	-0,24	-0,53	2,11	-0,08	-1,66
83	-0,39	-0,48	1,92	-0,64	-1,21
223	0,04	-0,47	2,35	0,62	-1,18
248	0,12	-0,43	2,40	0,75	-0,89
137	-0,22	-0,42	2,14	0,00	-0,82
91	-0,36	-0,41	1,96	-0,52	-0,79
419	0,64	-0,39	2,62	1,42	-0,65
354	0,44	-0,39	2,55	1,21	-0,64
425	0,66	-0,36	2,63	1,44	-0,52
163	-0,14	-0,36	2,21	0,22	-0,50
1858	5,03	-0,35	3,27	3,32	-0,49
210	0,00	-0,34	2,32	0,54	-0,42
261	0,16	-0,32	2,42	0,82	-0,36
187	-0,07	-0,32	2,27	0,39	-0,33
98	-0,34	-0,28	2,00	-0,42	-0,20
137	-0,22	-0,24	2,14	0,00	-0,08
82	-0,39	-0,24	1,92	-0,65	-0,05
54	-0,47	-0,22	1,74	-1,18	0,00
117	-0,28	-0,22	2,07	-0,20	0,00
92	-0,36	-0,14	1,97	-0,50	0,22
132	-0,24	-0,13	2,12	-0,05	0,23
103	-0,32	-0,07	2,02	-0,36	0,39
165	-0,13	0,00	2,22	0,23	0,54
37	-0,53	0,04	1,58	-1,66	0,62
93	-0,35	0,12	1,97	-0,49	0,75
52	-0,48	0,16	1,73	-1,21	0,82
73	-0,41	0,44	1,87	-0,79	1,21
72	-0,42	0,64	1,86	-0,82	1,42
68	-0,43	0,66	1,84	-0,89	1,44
105	-0,32	5,03	2,03	-0,33	3,32
208,84			2,14		
327,77			0,34		

Quadro 14: Padronização dos dados da variável alcalinidade.
Técnica: arco seno.

Alcalinidade	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arcoseno	Transform. Z	Rotulagem
28,2	-0,07	-0,77	-0,24	-0,24	-0,33	-1,72
14,8	-0,40	-0,77	-0,38	-0,39	-0,48	-1,71
66,8	0,90	-0,77	0,04	0,04	-0,03	-1,61
73,3	1,06	-0,77	0,12	0,12	0,05	-1,42
37,6	0,17	-0,75	-0,22	-0,22	-0,31	-1,17
7,9	-0,57	-0,74	-0,35	-0,36	-0,45	-1,05
117,8	2,16	-0,73	0,60	0,64	0,60	-0,94
107,4	1,91	-0,68	0,43	0,44	0,39	-0,65
110,4	1,98	-0,68	0,61	0,66	0,62	-0,54
13,2	-0,44	-0,65	-0,14	-0,14	-0,22	-0,24
121,8	2,26	-0,65	-0,95	-1,25	-1,39	-0,24
61,9	0,77	-0,64	0,00	0,00	-0,07	-0,18
72,8	1,04	-0,58	0,16	0,16	0,09	-0,17
4,7	-0,65	-0,57	-0,07	-0,07	-0,14	-0,07
1,0	-0,74	-0,57	-0,33	-0,34	-0,43	-0,07
3,3	-0,68	-0,55	-0,22	-0,22	-0,30	-0,07
8,9	-0,55	-0,44	-0,38	-0,39	-0,48	-0,07
0,0	-0,77	-0,40	-0,46	-0,47	-0,57	0,00
1,3	-0,73	-0,37	-0,28	-0,28	-0,37	0,48
0,0	-0,77	-0,10	-0,35	-0,36	-0,45	0,54
0,0	-0,77	-0,07	-0,23	-0,24	-0,32	0,59
0,0	-0,77	0,17	-0,32	-0,32	-0,41	0,66
4,6	-0,65	0,77	-0,13	-0,13	-0,22	0,69
0,7	-0,75	0,90	-0,50	-0,53	-0,63	0,88
26,7	-0,10	1,04	-0,35	-0,35	-0,45	0,98
5,0	-0,64	1,06	-0,46	-0,48	-0,58	1,29
7,6	-0,58	1,91	-0,40	-0,41	-0,51	1,31
15,8	-0,37	1,98	-0,41	-0,42	-0,51	1,53
7,9	-0,57	2,16	-0,42	-0,43	-0,53	1,53
3,3	-0,68	2,26	-0,31	-0,32	-0,41	1,58
30,82			-0,21			
40,18			0,37			

Quadro 15: Padronização dos dados da variável sulfato. Técnica: arco seno.

Sulfatos (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arcoseno	Transform. Z	Rotulagem
12,2	-0,21	-1,03	-0,36	-0,37	-0,72	-2,35
12,3	-0,20	-1,03	-0,26	-0,27	-0,59	-2,05
13,6	-0,11	-1,03	0,86	1,03	1,17	-1,32
25,5	0,73	-1,03	0,36	0,37	0,27	-1,13
14,3	-0,06	-1,03	0,99	1,41	1,67	-1,00
11,9	-0,23	-0,29	-0,62	-0,67	-1,13	-0,86
31,6	1,11	-0,23	0,18	0,18	0,02	-0,72
14	-0,08	-0,22	0,99	1,43	1,71	-0,59
22,8	0,51	-0,21	-0,72	-0,81	-1,32	-0,23
0	-1,03	-0,21	0,00	0,00	-0,23	-0,23
82,5	4,57	-0,20	0,73	0,82	0,88	-0,23
15,6	0,03	-0,18	0,11	0,11	-0,08	-0,23
17,5	0,15	-0,18	-0,98	-1,35	-2,05	-0,23
13,3	-0,13	-0,16	0,67	0,73	0,76	-0,18
12	-0,22	-0,15	-0,54	-0,57	-1,00	-0,18
0	-1,03	-0,13	0,00	0,00	-0,23	-0,08
12,1	-0,21	-0,12	-0,45	-0,47	-0,86	0,02
0	-1,03	-0,11	0,00	0,00	-0,23	0,09
12,6	-0,18	-0,11	0,03	0,03	-0,18	0,27
21,6	0,43	-0,08	0,38	0,39	0,30	0,30
12,8	-0,16	-0,06	0,23	0,23	0,09	0,36
12,6	-0,18	-0,03	0,03	0,03	-0,18	0,76
11	-0,29	0,03	-1,00	-1,57	-2,35	0,88
0	-1,03	0,15	0,00	0,00	-0,23	1,00
13,6	-0,11	0,31	0,86	1,03	1,17	1,03
14,8	-0,03	0,43	0,79	0,91	1,00	1,05
0	-1,03	0,51	0,00	0,00	-0,23	1,17
19,8	0,31	0,70	0,81	0,95	1,05	1,17
13,5	-0,12	1,11	0,80	0,93	1,03	1,67
13	-0,15	4,57	0,42	0,43	0,36	1,71
15,22				0,17		
14,73				0,74		

Quadro 16: Padronização dos dados da variável alumínio. Técnica: arco seno.

Alumínio (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arcoseno	Transform. Z	Rotulagem
1,36	0,16	0,16	0,98	1,36	1,06	-2,45
0,78	-0,55	-0,55	0,70	0,78	-0,12	-1,53
1,15	-0,10	-0,10	0,91	1,15	0,63	-1,33
1,64	0,50	0,50	1,00	1,50	1,35	-1,22
1,62	0,48	0,48	1,00	1,52	1,39	-1,14
0,44	-0,96	-0,96	0,43	0,44	-0,82	-1,00
1,17	-0,07	-0,07	0,92	1,17	0,67	-0,96
1,31	0,10	0,10	0,97	1,31	0,96	-0,92
2,1	1,06	1,06	0,86	1,04	0,41	-0,82
0,91	-0,39	-0,39	0,79	0,91	0,14	-0,51
1,06	-0,21	-0,21	0,87	1,06	0,45	-0,22
0,39	-1,02	-1,02	0,38	0,39	-0,92	-0,16
1,09	-0,17	-0,17	0,89	1,09	0,51	-0,12
0,37	-1,05	-1,05	0,36	0,37	-0,96	0,00
0,59	-0,78	-0,78	0,56	0,59	-0,51	0,14
0,19	-1,27	-1,27	0,19	0,19	-1,33	0,33
0,84	-0,48	-0,48	0,74	0,84	0,00	0,41
0,09	-1,39	-1,39	0,09	0,09	-1,53	0,45
0,28	-1,16	-1,16	0,28	0,28	-1,14	0,47
3,5	2,77	2,77	-0,35	-0,36	-2,45	0,51
1,73	0,61	0,61	0,99	1,41	1,17	0,53
2,07	1,02	1,02	0,88	1,07	0,47	0,63
1,62	0,48	0,48	1,00	1,52	1,39	0,67
2,38	1,40	1,40	0,69	0,76	-0,16	0,80
2,41	1,44	1,44	0,67	0,73	-0,22	0,96
0,24	-1,21	-1,21	0,24	0,24	-1,22	1,06
1,91	0,83	0,83	0,94	1,23	0,80	1,17
2,14	1,11	1,11	0,84	1,00	0,33	1,35
1,1	-0,16	-0,16	0,89	1,10	0,53	1,39
0,35	-1,07	-1,07	0,34	0,35	-1,00	1,39
1,23				0,84		
0,82				0,49		

Quadro 17: Padronização dos dados da variável cálcio. Técnica: arco seno.

Cálcio (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arco seno	Transform. Z	Rotulagem
1,63	-0,28	-0,41	1,00	1,51	1,72	-2,79
0,23	-0,40	-0,41	0,23	0,23	-0,28	-1,50
3,12	-0,15	-0,41	0,02	0,02	-0,61	-1,36
6,38	0,12	-0,40	0,10	0,10	-0,49	-0,95
0,83	-0,35	-0,39	0,74	0,83	0,66	-0,65
0,25	-0,39	-0,39	0,25	0,25	-0,25	-0,64
19,27	1,19	-0,39	0,41	0,42	0,02	-0,64
20,5	1,29	-0,39	1,00	1,49	1,69	-0,64
11,19	0,52	-0,38	-0,98	-1,38	-2,79	-0,61
0,77	-0,35	-0,37	0,70	0,77	0,56	-0,49
62,28	4,78	-0,37	-0,52	-0,55	-1,50	-0,28
2,13	-0,24	-0,37	0,85	1,01	0,94	-0,25
1,35	-0,30	-0,36	0,98	1,35	1,47	-0,17
5,82	0,07	-0,35	-0,45	-0,46	-1,36	-0,14
0,3	-0,39	-0,35	0,30	0,30	-0,17	-0,13
1,52	-0,29	-0,35	1,00	1,52	1,73	-0,06
3,15	-0,15	-0,33	-0,01	-0,01	-0,65	0,02
0,37	-0,38	-0,30	0,36	0,37	-0,06	0,23
0,96	-0,33	-0,29	0,82	0,96	0,86	0,25
0,56	-0,37	-0,28	0,53	0,56	0,23	0,28
0,75	-0,35	-0,24	0,68	0,75	0,53	0,42
0,59	-0,37	-0,15	0,56	0,59	0,28	0,53
3,34	-0,14	-0,15	-0,20	-0,20	-0,95	0,56
0	-0,41	-0,14	0,00	0,00	-0,64	0,66
0,33	-0,39	0,07	0,32	0,33	-0,13	0,86
0	-0,41	0,12	0,00	0,00	-0,64	0,94
0	-0,41	0,52	0,00	0,00	-0,64	1,47
0,32	-0,39	1,19	0,31	0,32	-0,14	1,69
0,57	-0,37	1,29	0,54	0,57	0,25	1,72
0,68	-0,36	4,78	0,63	0,68	0,42	1,73
4,97				0,41		
12,00				0,64		

Quadro 18: Padronização dos dados da variável ferro. Técnicas: raiz e arco seno.

Ferro (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Raiz	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arco seno	Transform. Z	Rotulagem
0,26	-0,15	-0,69	0,51	0,16	-1,22	0,26	0,26	-0,09	-0,88
0,00	-0,69	-0,69	0,00	-1,22	-1,22	0,00	0,00	-0,88	-0,88
0,71	0,79	-0,69	0,84	1,06	-1,22	0,65	0,71	1,27	-0,88
0,15	-0,38	-0,69	0,39	-0,17	-1,22	0,15	0,15	-0,42	-0,88
0,04	-0,60	-0,69	0,20	-0,68	-1,22	0,04	0,04	-0,76	-0,88
0,00	-0,69	-0,69	0,00	-1,22	-1,22	0,00	0,00	-0,88	-0,88
0,48	0,31	-0,69	0,69	0,66	-1,22	0,46	0,48	0,58	-0,88
0,53	0,42	-0,60	0,73	0,75	-0,68	0,51	0,53	0,73	-0,76
0,05	-0,58	-0,58	0,22	-0,61	-0,61	0,05	0,05	-0,73	-0,73
0,00	-0,69	-0,58	0,00	-1,22	-0,61	0,00	0,00	-0,88	-0,73
0,26	-0,15	-0,56	0,51	0,16	-0,55	0,26	0,26	-0,09	-0,70
1,68	2,81	-0,54	1,30	2,29	-0,50	0,99	1,46	3,55	-0,67
2,16	3,81	-0,38	1,47	2,76	-0,17	0,83	0,98	2,10	-0,42
0,05	-0,58	-0,31	0,22	-0,61	-0,07	0,05	0,05	-0,73	-0,33
0,00	-0,69	-0,29	0,00	-1,22	-0,04	0,00	0,00	-0,88	-0,30
0,26	-0,15	-0,23	0,51	0,16	0,05	0,26	0,26	-0,09	-0,21
0,00	-0,69	-0,15	0,00	-1,22	0,16	0,00	0,00	-0,88	-0,09
0,00	-0,69	-0,15	0,00	-1,22	0,16	0,00	0,00	-0,88	-0,09
0,00	-0,69	-0,15	0,00	-1,22	0,16	0,00	0,00	-0,88	-0,09
0,46	0,27	-0,06	0,68	0,62	0,26	0,44	0,46	0,52	0,03
0,30	-0,06	0,02	0,55	0,26	0,36	0,30	0,30	0,03	0,15
0,07	-0,54	0,17	0,26	-0,50	0,51	0,07	0,07	-0,67	0,36
0,18	-0,31	0,27	0,42	-0,07	0,62	0,18	0,18	-0,33	0,52
0,57	0,50	0,31	0,75	0,82	0,66	0,54	0,57	0,85	0,58
0,34	0,02	0,42	0,58	0,36	0,75	0,33	0,34	0,15	0,73
0,41	0,17	0,48	0,64	0,51	0,81	0,40	0,41	0,36	0,82
0,06	-0,56	0,50	0,24	-0,55	0,82	0,06	0,06	-0,70	0,85
0,19	-0,29	0,79	0,44	-0,04	1,06	0,19	0,19	-0,30	1,27
0,56	0,48	2,81	0,75	0,81	2,29	0,53	0,56	0,82	2,10
0,22	-0,23	3,81	0,47	0,05	2,76	0,22	0,22	-0,21	3,55
0,33			0,45				0,29		
0,48			0,37				0,33		

Quadro 19: Padronização dos dados da variável magnésio. Técnicas: arco seno e log 10.

Magnésio (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arco seno	Transform. Z	Rotulagem	log 10	Transform. Z	Rotulagem
2,1	-0,36	-0,81	0,86	1,04	0,81	-2,12	0,49	-0,37	-1,89
0,34	-0,81	-0,66	0,33	0,34	0,00	-1,81	0,13	-1,89	-1,24
4,38	0,22	-0,64	-0,95	-1,24	-1,81	-1,39	0,73	0,63	-1,18
5,47	0,49	-0,64	-0,73	-0,81	-1,33	-1,33	0,81	0,96	-1,16
2,96	-0,14	-0,60	0,18	0,18	-0,18	-1,25	0,60	0,07	-1,03
2,01	-0,38	-0,55	0,91	1,13	0,91	-1,18	0,48	-0,42	-0,89
6,96	0,87	-0,48	0,63	0,68	0,39	-1,09	0,90	1,34	-0,66
4,78	0,32	-0,45	-1,00	-1,50	-2,12	-1,07	0,76	0,76	-0,59
3,29	-0,06	-0,42	-0,15	-0,15	-0,56	-0,56	0,63	0,22	-0,52
2,98	-0,14	-0,41	0,16	0,16	-0,21	-0,31	0,60	0,08	-0,48
22,58	4,83	-0,38	-0,56	-0,59	-1,07	-0,21	1,37	3,30	-0,42
2,19	-0,34	-0,36	0,81	0,95	0,70	-0,18	0,50	-0,32	-0,37
6,66	0,79	-0,34	0,37	0,38	0,04	-0,14	0,88	1,27	-0,32
4,01	0,12	-0,32	-0,76	-0,87	-1,39	0,00	0,70	0,50	-0,28
1,75	-0,45	-0,25	0,98	1,39	1,21	0,04	0,44	-0,59	-0,12
2,92	-0,15	-0,15	0,22	0,22	-0,14	0,29	0,59	0,06	0,06
1,15	-0,60	-0,14	0,91	1,15	0,93	0,39	0,33	-1,03	0,07
1	-0,64	-0,14	0,84	1,00	0,76	0,62	0,30	-1,16	0,08
3,75	0,06	-0,11	-0,57	-0,61	-1,09	0,67	0,68	0,40	0,12
1,92	-0,41	-0,06	0,94	1,22	1,01	0,70	0,47	-0,48	0,22
3,89	0,09	0,06	-0,68	-0,75	-1,25	0,74	0,69	0,46	0,40
1,64	-0,48	0,08	1,00	1,50	1,34	0,76	0,42	-0,66	0,43
2,55	-0,25	0,09	0,56	0,59	0,29	0,81	0,55	-0,12	0,46
0,98	-0,64	0,12	0,83	0,98	0,74	0,91	0,30	-1,18	0,50
3,07	-0,11	0,22	0,07	0,07	-0,31	0,93	0,61	0,12	0,63
0,92	-0,66	0,32	0,80	0,92	0,67	1,01	0,28	-1,24	0,76
1,85	-0,42	0,49	0,96	1,29	1,09	1,09	0,45	-0,52	0,96
2,26	-0,32	0,79	0,77	0,88	0,62	1,14	0,51	-0,28	1,27
1,33	-0,55	0,87	0,97	1,33	1,14	1,21	0,37	-0,89	1,34
3,83	0,08	4,83	-0,64	-0,69	-1,18	1,34	0,68	0,43	3,30
3,52				0,34			0,58		
3,95				0,87			0,24		

Quadro 20: Padronização dos dados da variável manganês. Técnica: *raiz*.

Manganês (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	Raiz	Transform. Z	Rotulagem
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,140	0,73	0,73	0,37	1,15	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,480	3,00	3,00	0,69	2,53	-0,48
0,310	1,87	1,87	0,56	1,94	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,510	3,20	3,20	0,71	2,63	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,370	2,27	2,27	0,61	2,17	-0,48
0,130	0,67	0,67	0,36	1,09	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	-0,48
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	1,09
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	1,15
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	1,94
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	2,17
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	2,53
0,000	-0,20	-0,20	0,00	-0,48	2,63
0,06			0,11		
0,15			0,23		

Quadro 21: Padronização dos dados da variável potássio. Técnica: log 10.

Potássio (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	log 10	Transform. Z	Rotulagem
1,96	-0,27	-1,11	0,47	-0,09	-1,67
1,14	-0,71	-1,07	0,33	-0,76	-1,56
2,70	0,13	-0,89	0,57	0,37	-1,13
1,43	-0,55	-0,88	0,39	-0,50	-1,09
4,41	1,04	-0,86	0,73	1,16	-1,05
4,69	1,19	-0,77	0,76	1,26	-0,88
1,63	-0,44	-0,71	0,42	-0,33	-0,76
1,92	-0,29	-0,70	0,47	-0,12	-0,74
2,30	-0,09	-0,70	0,52	0,14	-0,74
2,88	0,22	-0,55	0,59	0,47	-0,50
3,32	0,46	-0,55	0,64	0,69	-0,49
6,98	2,42	-0,46	0,90	1,96	-0,36
3,05	0,32	-0,44	0,61	0,56	-0,33
7,88	2,90	-0,42	0,95	2,18	-0,29
0,86	-0,86	-0,34	0,27	-1,05	-0,19
0,38	-1,11	-0,29	0,14	-1,67	-0,12
1,16	-0,70	-0,27	0,33	-0,74	-0,09
0,79	-0,89	-0,18	0,25	-1,13	0,03
2,13	-0,18	-0,09	0,50	0,03	0,14
5,78	1,78	0,13	0,83	1,62	0,37
1,68	-0,42	0,22	0,43	-0,29	0,47
1,82	-0,34	0,22	0,45	-0,19	0,47
2,87	0,22	0,32	0,59	0,47	0,56
1,02	-0,77	0,46	0,31	-0,88	0,69
0,82	-0,88	0,56	0,26	-1,09	0,78
3,51	0,56	1,04	0,65	0,78	1,16
1,44	-0,55	1,19	0,39	-0,49	1,26
1,16	-0,70	1,78	0,33	-0,74	1,62
1,60	-0,46	2,42	0,41	-0,36	1,96
0,45	-1,07	2,90	0,16	-1,56	2,18
2,46			0,49		
1,87			0,21		

Quadro 22: Padronização dos dados da variável sódio. Técnicas: log 10 e arco seno.

Sódio (mg/l)	Transform. Z	Rotulagem	log 10	Transform. Z	Rotulagem	Seno	Arco seno	Transform. Z	Rotulagem
15,67	-0,13	-0,13	1,22	0,28	-1,46	0,04	0,04	-0,02	-1,81
13,33	-0,19	-0,19	1,16	0,10	-1,41	0,69	0,76	0,78	-1,78
18,68	-0,05	-0,05	1,29	0,47	-1,07	-0,17	-0,17	-0,26	-1,68
15,8	-0,13	-0,13	1,23	0,28	-0,95	-0,09	-0,09	-0,17	-1,61
7,44	-0,35	-0,35	0,93	-0,52	-0,84	0,92	1,16	1,22	-1,55
6,91	-0,37	-0,37	0,90	-0,60	-0,79	0,59	0,63	0,63	-1,38
42,53	0,60	0,60	1,64	1,40	-0,72	-0,99	-1,45	-1,68	-0,97
31,28	0,29	0,29	1,51	1,05	-0,68	-0,14	-0,14	-0,22	-0,81
58,9	1,04	1,04	1,78	1,78	-0,60	0,71	0,79	0,81	-0,74
19,99	-0,01	-0,01	1,32	0,55	-0,57	0,91	1,14	1,20	-0,69
205,75	5,00	5,00	2,32	3,23	-0,52	-1,00	-1,55	-1,78	-0,43
17,28	-0,09	-0,09	1,26	0,38	-0,52	-1,00	-1,57	-1,81	-0,26
28,6	0,22	0,22	1,47	0,95	-0,34	-0,32	-0,33	-0,43	-0,26
10,09	-0,28	-0,28	1,04	-0,20	-0,33	-0,62	-0,67	-0,81	-0,22
11,23	-0,25	-0,25	1,09	-0,09	-0,20	-0,97	-1,34	-1,55	-0,17
13,89	-0,18	-0,18	1,17	0,14	-0,09	0,97	1,32	1,40	-0,02
5,47	-0,40	-0,40	0,81	-0,84	-0,02	-0,73	-0,81	-0,97	0,07
4,89	-0,42	-0,42	0,77	-0,95	0,10	-0,98	-1,39	-1,61	0,15
7,49	-0,35	-0,35	0,93	-0,52	0,10	0,93	1,21	1,27	0,32
2,95	-0,47	-0,47	0,60	-1,41	0,14	0,19	0,19	0,15	0,47
8,94	-0,31	-0,31	1,00	-0,33	0,28	0,47	0,48	0,47	0,55
8,87	-0,31	-0,31	0,99	-0,34	0,28	0,53	0,55	0,55	0,63
13,34	-0,19	-0,19	1,16	0,10	0,38	0,70	0,77	0,79	0,78
2,79	-0,48	-0,48	0,58	-1,46	0,47	0,34	0,35	0,32	0,79
6,11	-0,39	-0,39	0,85	-0,72	0,55	-0,17	-0,17	-0,26	0,81
5,72	-0,40	-0,40	0,83	-0,79	0,95	-0,53	-0,56	-0,69	0,83
6,41	-0,38	-0,38	0,87	-0,68	1,05	0,13	0,13	0,07	1,20
4,32	-0,44	-0,44	0,73	-1,07	1,40	-0,92	-1,18	-1,38	1,22
7,09	-0,36	-0,36	0,91	-0,57	1,78	0,72	0,81	0,83	1,27
11,96	-0,23	-0,23	1,11	-0,02	3,23	-0,57	-0,61	-0,74	1,40
20,46			1,12				-0,06		
37,08			0,37				0,90		

A padronização das onze variáveis é uma etapa para a efetuação da técnica de normalização “Chi” quadrado. Utilizando-se os dados rotulados e classificados em ordem crescente, (coluna à direita nos quadros de padronização) que vão de -2 a 2 adimensional, obteve-se a frequência observada (Freq Obs), que é base para o Quadro 23.

Quadro 23: Resultado final das onze amostras não normais tratadas pelo Teste Chi.

Freq Obs	Classes Z	Cond	Alcalin	Cloro	Sulfato	Alumínio	Cálcio	Ferro	Magnésio	Manganês	Potássio	Sódio
	< -1	3	6	6	5	5	3	7	5	0	5	3
	-.1 a 0	14	11	10	12	8	13	8	10	24	12	14
	0 a 1	9	8	7	7	12	10	12	12	6	8	9
	> 1	4	5	7	7	5	4	3	3	0	5	5
Freq Esp Normal												
	< -1	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
	-.1 a 0	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
	0 a 1	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
	> 1	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Teste Chi												
	Obs - Esp	-2	1	1	0	0	-2	2	0	-5	0	-2
		4	1	0	2	-2	3	-2	0	14	2	4
		-1	-2	-3	-3	2	0	2	2	-4	-2	-1
		-1	0	2	2	0	-1	-2	-2	-5	0	0
	(O - E) 2/E	0,68	0,30	0,30	0,01	0,01	0,68	1,01	0,01	4,80	0,01	0,68
		1,25	0,03	0,02	0,25	0,55	0,65	0,55	0,02	17,78	0,25	1,25
		0,19	0,55	1,11	1,11	0,25	0,02	0,25	0,25	1,86	0,55	0,19
		0,13	0,01	1,01	1,01	0,01	0,13	0,68	0,68	4,80	0,01	0,01
	χ^2	2,24	0,90	2,44	2,37	0,82	1,47	2,48	0,94	29,25	0,82	2,12

Notar que a variável manganês não foi normalizada, pois seu índice extrapolou 3,84. ‘O’ significa frequência observada e ‘E’ esperada. A frequência esperada para um caso normal foi adaptada para os trinta casos deste estudo, ao contrário dos cinquenta casos padrão de estudos estatísticos.

Após a obtenção da normalidade, com valores não podendo extrapolar o índice de 3,84, que é um valor tabelado para uma variável normal e um alfa de 0,05, utilizando-se dos dados transformados, rotulados e classificados no *Excel* (Quadro 23), adotou-se o software *Statistica*, em que foi gerado um novo histograma para visualizar a normalidade e dar prosseguimento às análises (Figuras 12a-k).

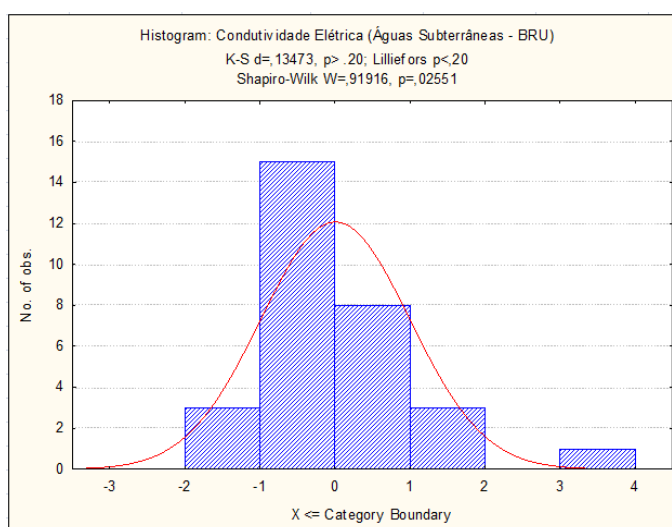


Figura 12a: Verificação da normalidade da variável condutividade após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização não foi obtida, como demonstra o valor de “p”.

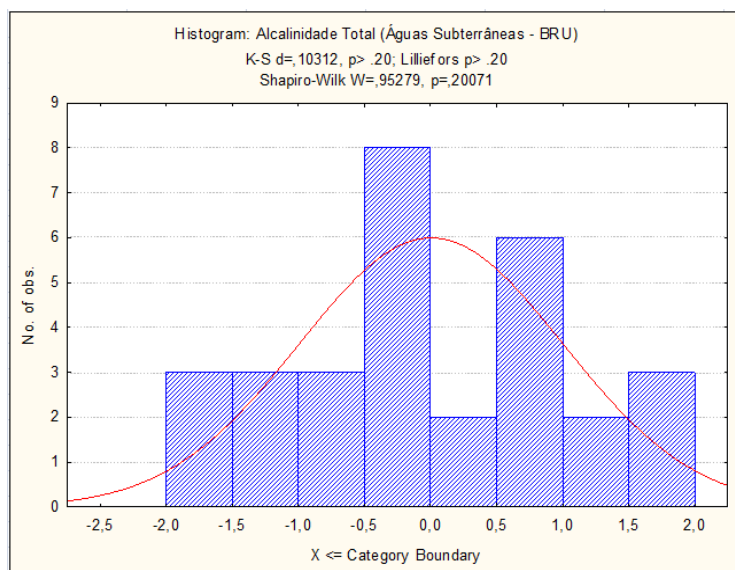


Figura 12b: Verificação da normalidade da variável alcalinidade total, após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização foi alcançada, como demonstra o valor de “p”.

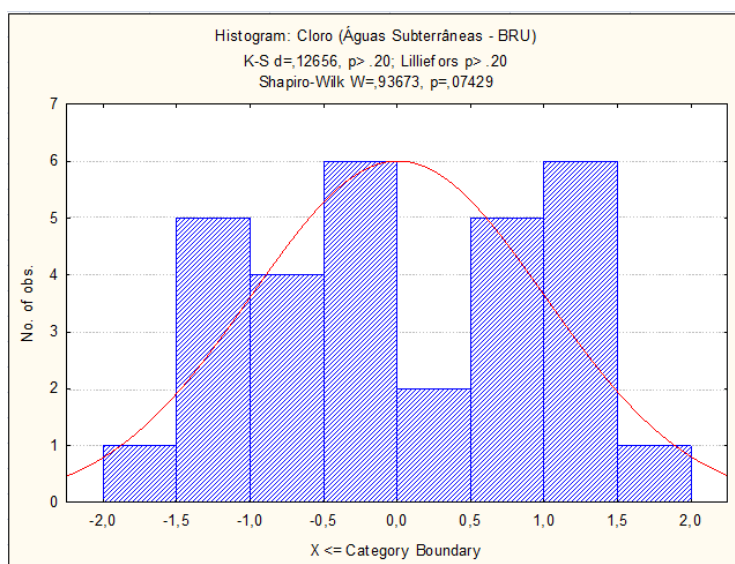


Figura 12c: Verificação da normalidade da variável cloro após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização foi difícil de ser alcançada, como demonstra o valor de “p”.

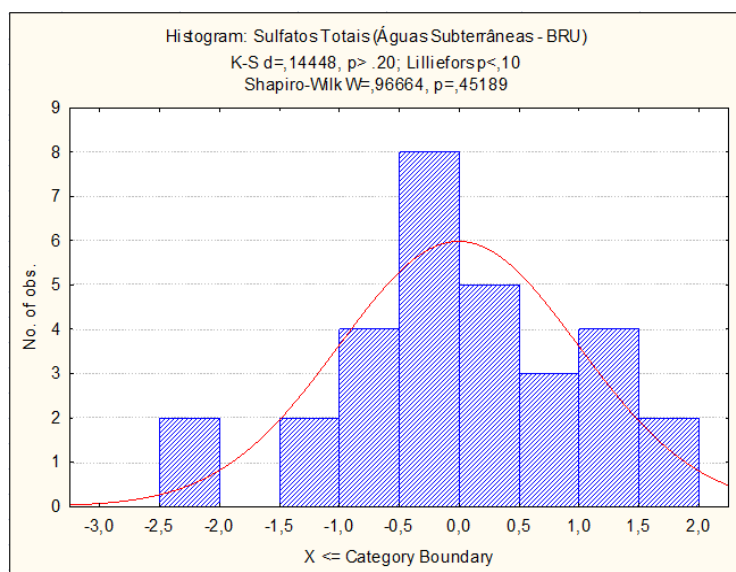


Figura 12d: Verificação da normalidade da variável sulfato após utilização da técnica de “*Chi*” quadrado. Notar que a normalização foi facilmente alcançada, como demonstra o valor de “p”.

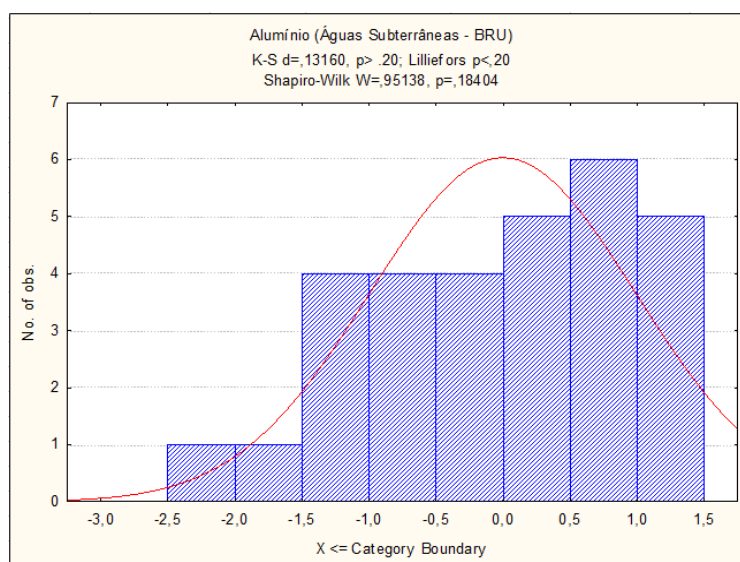


Figura 12e: Verificação da normalidade da variável alumínio após utilização da técnica de “*Chi*” quadrado. Notar que a normalização foi alcançada, como demonstra o valor de “p”.

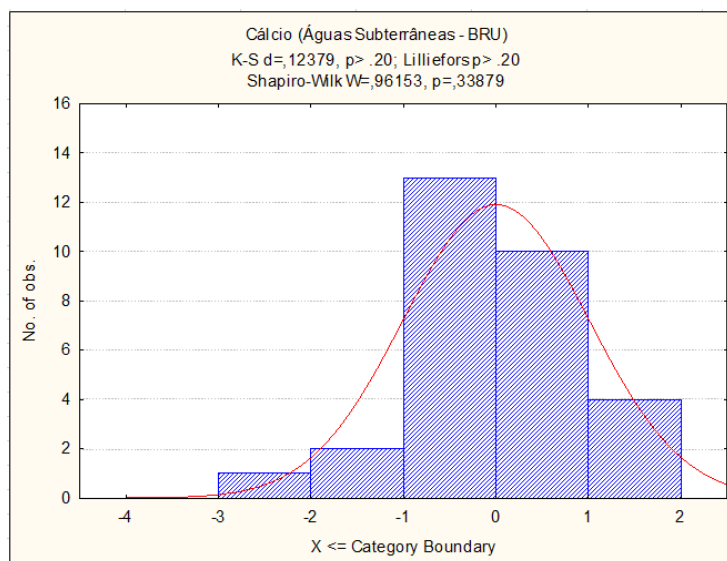


Figura 12f: Verificação da normalidade da variável cálcio após utilização da técnica de “*Chi*” quadrado. Notar que a normalização foi facilmente alcançada, como demonstra o valor de “p”.

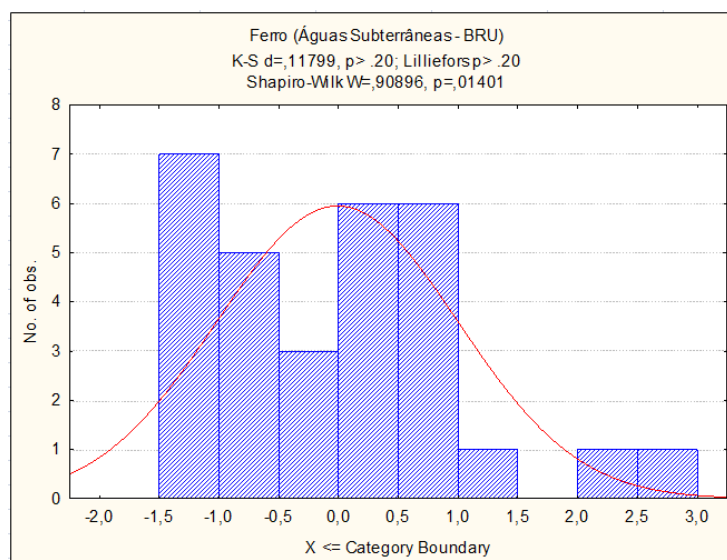


Figura 12g: Verificação da normalidade da variável ferro após utilização da técnica de “*Chi*” quadrado. Notar que a normalização não foi alcançada, como demonstra o valor de “p”.

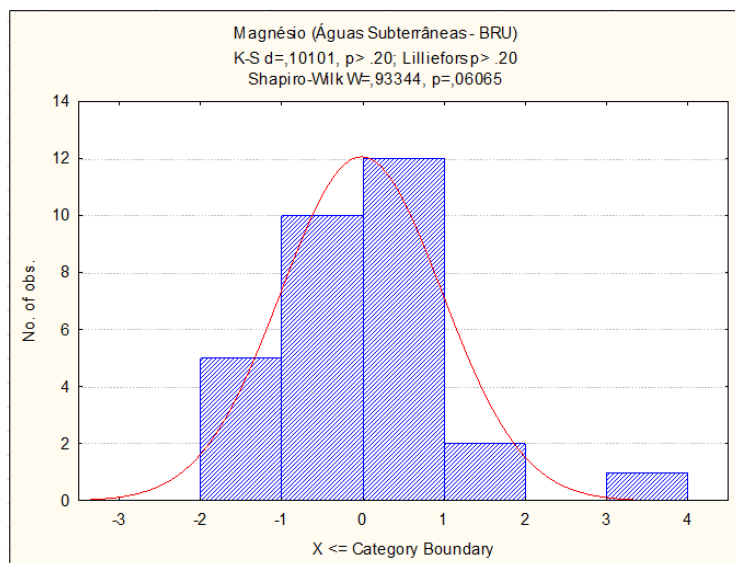


Figura 12h: Verificação da normalidade da variável magnésio após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização foi difícil de ser alcançada, como demonstra o valor de “p”.

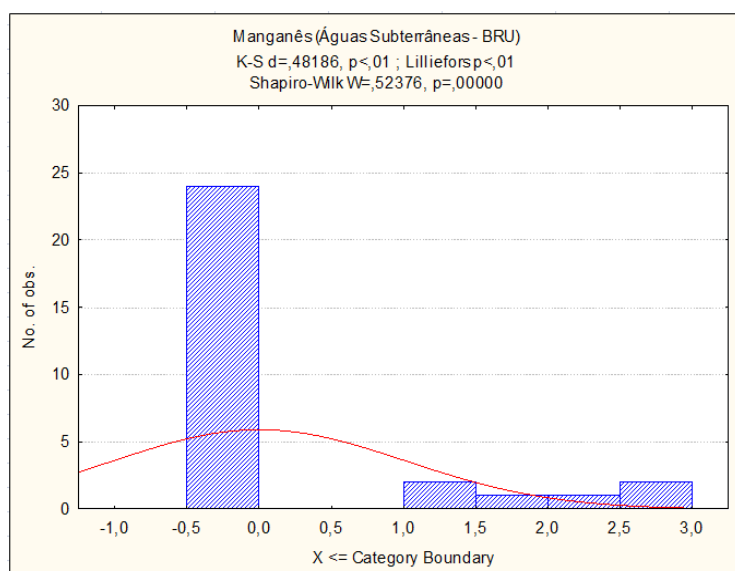


Figura 12i: Verificação da normalidade da variável manganês após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização não foi alcançada, como demonstra o valor de “p”<0,05.

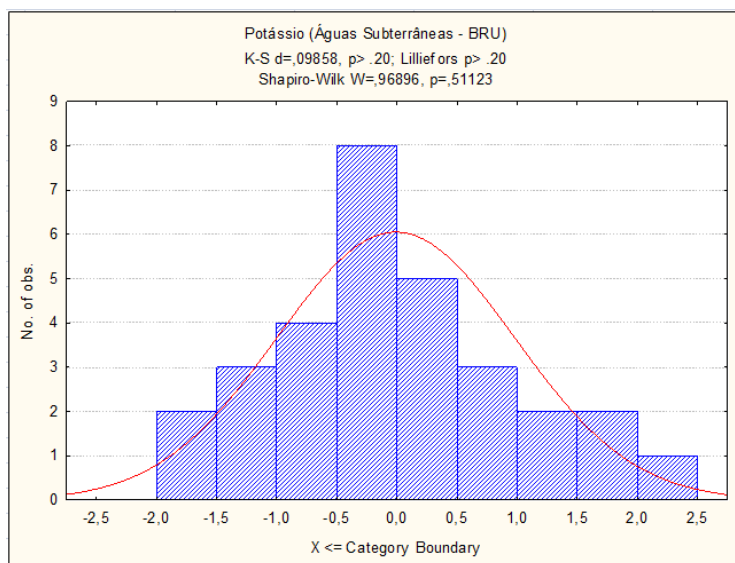


Figura 12j: Verificação da normalidade da variável potássio após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização foi verificada, como demonstra o valor de “p”.

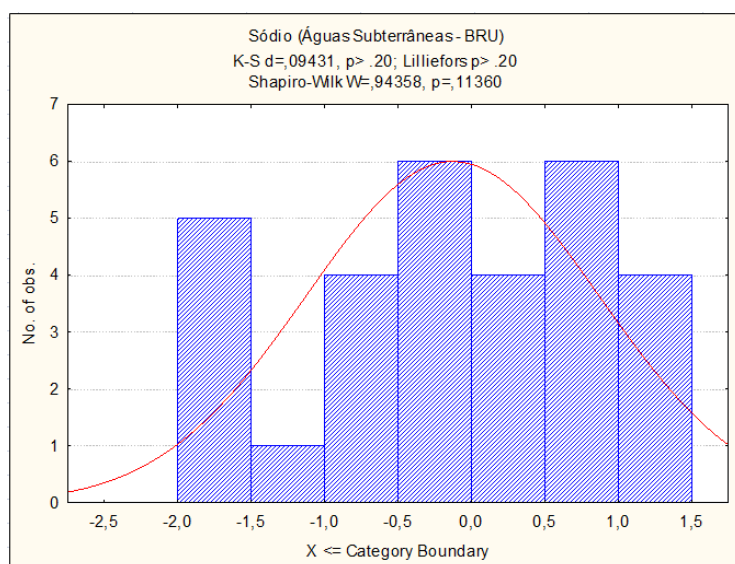


Figura 12k: Verificação da normalidade da variável sódio após utilização da técnica de “Chi” quadrado. Notar que a normalização foi alcançada, como demonstra o valor de “p”.

Ao fim da etapa de pré-processamento de dados, das doze variáveis disponíveis para o estudo, a série de dados de pH seguiu uma distribuição normal, enquanto as séries das outras variáveis foram normalizadas por meio da técnica de “Chi” quadrado, com exceção da variável manganês. Por esse motivo, para análises estatísticas detalhadas, essa variável foi retirada dos estudos, pois forneceria dados estatísticos imprecisos, interferindo na produção e leitura de diagramas.

8 RESULTADOS DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) E AGRUPAMENTO

Após a padronização e normalização, os dados brutos da tabela de água subterrânea da BRU foram importados para o software MVSP (Multi-Variate Statistical Package). Nesse programa, efetuou-se uma análise de componentes principais (ACP) apresentando, como resultado, a matriz de similaridade, os eixos componentes principais e a possibilidade de se averiguar os pesos das variáveis nos distintos eixos (Quadro 24). Ressalte-se que os dados de todas as variáveis e casos foram submetidos à ACP inicialmente.

No Quadro 24, através da matriz de similaridade, pôde-se averiguar o grau de relacionamento químico das variáveis abordadas neste estudo. O grau de relacionamento foi de -1 a 1 e, quanto maior o valor positivo e negativo encontrados, maior foi a correlação positiva e negativa entre as variáveis, respectivamente. Há o exemplo do cloreto, que se apresentou fortemente relacionado ao sódio, ou do magnésio com cálcio, e ambos com a condutividade. Isso era de se esperar, já que o NaCl é o cloreto mais comum nas águas subterrâneas e o cálcio e o magnésio estão presentes na forma de carbonatos e esses íons são os causadores do aumento de condutividade.

Como a maioria dos dados tratados pela ACP pode ser explicitada por diagramas euclidianos bidimensionais, sobre a intersecção dos eixos das abscissas e das ordenadas, podem ser traçados eixos condizente com o número de variáveis empregadas em cada estudo, neste caso 12. Os três primeiros eixos estão grifados na linha autovalores (Quadro 24), pois respondem por mais de 66% do percentual acumulado na ACP, ou seja, são os três componentes principais para todos os casos e variáveis abordados conjuntamente. Cada eixo é composto por aquelas variáveis que mais “pesam” quando um caso se aproxima de um eixo num diagrama euclidiano (Gráfico 2). No Quadro 24, aparecem destacadas as variáveis componentes principais de cada eixo. Vale destacar que, em menor grau, as variáveis com pouco peso também compõem os eixos.

Quadro 24: Resultado do tratamento estatístico realizado pela técnica de ACP no software *MVSP*.

APC - Todos os Casos													
Similarity matrix													
	pH	Cond.	Alc.Total	Cl	SO4	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	K	Na	
pH	0,937												
Cond.	0,393	0,622											
Alc.Total	0,839	0,534	0,956										
Cl	0,022	0,279	0,07	0,331									
SO4	0,392	0,32	0,359	0,025	0,915								
Al	-0,011	0,053	0,112	-0,146	0,182	1,036							
Ca	0,454	0,563	0,503	0,201	0,309	0,043	0,698						
Fe	0,353	0,217	0,366	0,064	0,196	0,077	0,107	1,036					
Mg	0,214	0,496	0,377	0,192	0,249	0,073	0,412	0,25	0,622				
Mn	0,04	0,13	0,012	0,213	-0,106	-0,207	-0,026	0,453	-0,004	1,028			
K	-0,038	0,224	0,169	0,075	0,319	0,015	0,132	0,266	0,115	0,055	1,017		
Na	0,473	0,565	0,545	0,307	0,209	-0,071	0,493	0,2	0,379	0,173	0,053	0,639	
	pH	Cond.	Alc.Total	Cl	SO4	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	K	Na	
Eigenvalues													
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6	Axis 7	Axis 8	Axis 9	Axis 10	Axis 11	Axis 12	
Eigenvalues	3,741	1,523	1,256	1,04	0,836	0,524	0,459	0,191	0,183	0,051	0,028	0,005	
Percentage	38,033	15,48	12,768	10,572	8,496	5,326	4,662	1,938	1,864	0,523	0,284	0,055	
Cum. Percentage	38,033	53,513	66,281	76,853	85,349	90,675	95,337	97,275	99,138	99,661	99,945	100	
PCA variable loadings													
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6	Axis 7	Axis 8	Axis 9	Axis 10	Axis 11	Axis 12	
pH	0,392	-0,083	-0,196	0,371	-0,393	-0,001	-0,168	-0,079	-0,021	-0,331	0,585	-0,147	
Cond.	0,369	0,003	-0,074	-0,215	0,247	-0,002	-0,03	0,049	-0,008	0,212	-0,062	-0,836	
Alc.Total	0,443	-0,115	-0,088	0,22	-0,204	-0,293	-0,223	0,393	0,043	-0,04	-0,614	0,153	
Cl	0,124	0,186	-0,123	-0,255	0,236	0,084	-0,011	-0,179	0,541	-0,675	-0,16	0,027	
SO4	0,277	-0,253	0,305	-0,111	-0,267	0,793	0,148	0,052	0,079	0,053	-0,129	0,062	
Al	0,042	-0,44	0,437	0,389	0,596	-0,003	-0,29	-0,041	0,081	-0,072	0,092	0,036	
Ca	0,347	-0,12	-0,17	-0,192	0,154	-0,006	-0,049	-0,607	-0,564	-0,055	-0,169	0,233	
Fe	0,26	0,393	0,417	0,39	-0,04	-0,193	0,528	-0,319	0,112	0,083	-0,105	-0,043	
Mg	0,284	-0,04	-0,026	-0,177	0,327	-0,081	0,515	0,53	-0,251	-0,192	0,283	0,215	
Mn	0,086	0,711	0,075	0,156	0,208	0,348	-0,408	0,204	-0,278	-0,017	0,02	0,078	
K	0,151	0,075	0,616	-0,532	-0,245	-0,337	-0,301	0,017	-0,01	-0,042	0,196	0,065	
Na	0,349	0,075	-0,247	-0,1	0,162	-0,009	-0,107	-0,083	0,469	0,576	0,26	0,371	

As matrizes obtidas pela técnica ACP não foram suficientes para elucidar a importância ou redundância de variáveis, se comparadas com os gráficos euclidianos bidimensionais obtidos como complemento de cada análise detalhada. Segue o gráfico bidimensional 2 e o 3 que cruzam, respectivamente, os eixos 1 e 2 / 1 e 3. Dessa forma, as possíveis relações entre as 12 variáveis independentes e os casos, variáveis dependentes, puderam ser percebidas de início.

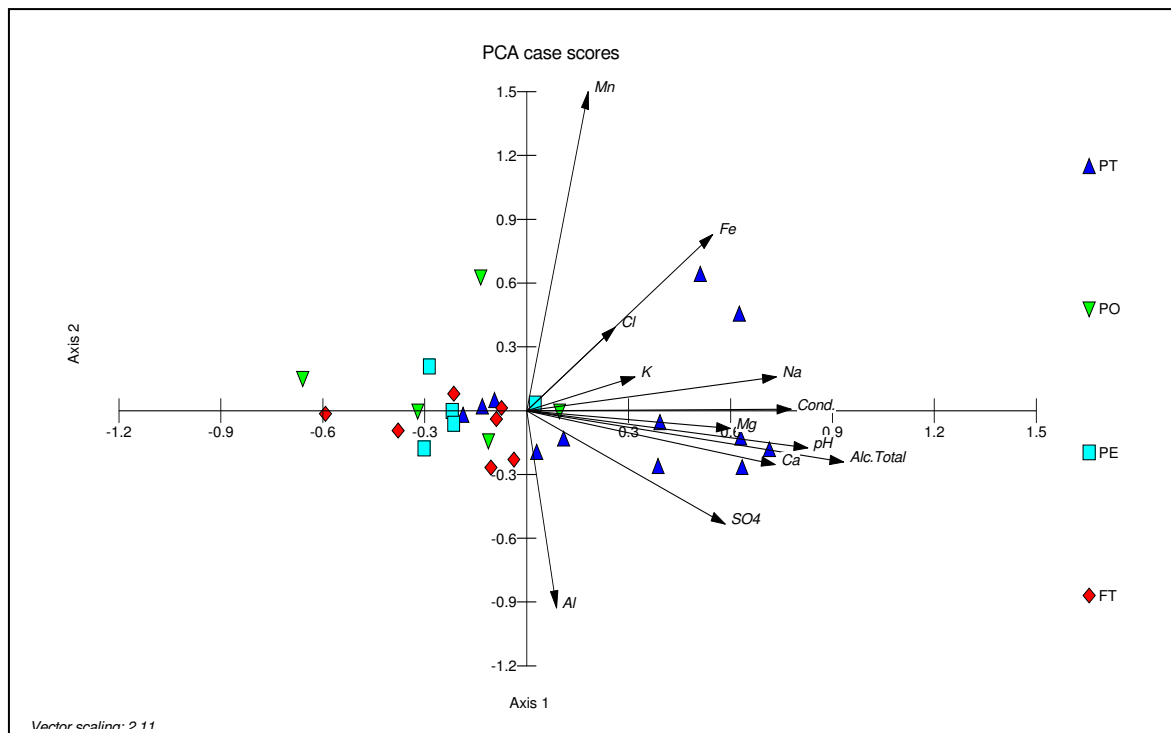


Gráfico 2: Cruzamento dos eixos 1 e 2. Na legenda os PT são poços tubulares, PO – poças, PE – poços escavados e FT – fontes ou nascentes.

O Gráfico 2 evidenciou que as águas de poços tubulares apresentaram água com variabilidade geoquímica entre si. Todavia, ficaram homogeneamente posicionadas à direita do gráfico, sob influência redundante de vários vetores de variáveis. Entre estas se pode citar, como as mais expressivas, a alcalinidade total, os sulfatos, o sódio e a condutividade. Não existe correlação negativa das variáveis medidas na água subterrânea de poços tubulares. Como verificado, a concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas é maior que nas águas de fontes, poços escavados e poças.

As águas de poços escavados e fontes apresentaram maior proximidade no gráfico, condizente com o fato de serem águas oriundas do freático. A representação das águas de poças, em verde, indicou que essas águas possuem maiores diferenciações quanto aos constituintes geoquímicos. Como possuem a

mesma origem, isto é, o freático da Planície de Cristas Praiais com Dunas na BRU, a classificação das águas das ponteiros difere quanto aos constituintes dissolvidos. Poços escavados, fontes e ponteiros apresentaram forte correlação negativa com as 12 variáveis, demonstrando que suas águas concentram menos sólidos totais dissolvidos, se comparadas com as águas de poços tubulares. Para efeito de comparação com o Gráfico 2, plotou-se o Gráfico 3, cruzando o eixo 1 com o eixo 3, como segue:

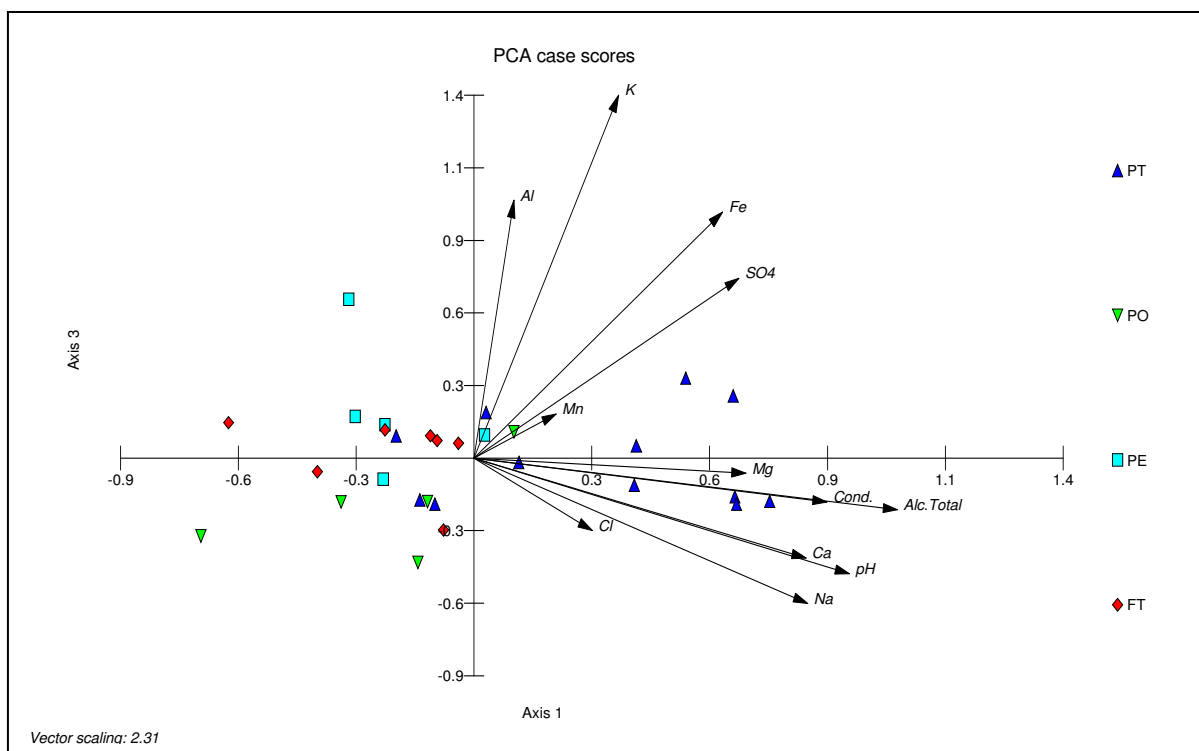


Gráfico 3: Cruzamento dos eixos 1 e 3. Na legenda os PT são poços tubulares, PO – ponteiros, PE – poços escavados e FT – fontes ou nascentes.

O Gráfico 3 foi complementar ao 2 e serviu para ratificar as conclusões provindas desse último. Novamente, foi perceptível o arranjo diferenciado das águas de poços tubulares em relação aos casos, isto é, diferentes pontos de coleta de água. Os poços tubulares indicam, nessa análise integrada, comportarem águas alcalinas, águas sulfatadas e algumas de natureza hidroquímica magnesiana. No entanto, três poços tubulares apresentaram correlação negativa com algumas variáveis, como o sulfato, o ferro e a alcalinidade. À esquerda, no Gráfico 3, percebe-se que nesses três poços as águas se assemelham quimicamente a do freático.

Todavia, para se obter um resultado mais acurado, optou-se por tratar estatisticamente, de maneira particionada, as quatro formas de obtenção de águas

subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga (BRU), que representam condições diferentes onde se localizam as águas. Apresentam-se gráficos bidimensionais obtidos na análise de componentes principais para poços tubulares, ponteiros, poços escavados e fontes (Gráficos 4, 5, 6 e 7). Para efeito comparativo com a análise de componentes principais, realizou-se uma análise de agrupamento, *modo q* (casos), para averiguar a similaridade dos pontos de coleta dentro da gama de casos.

8.1 Poços Tubulares

Com base na matriz apresentada no Quadro 24 e na redundância de vetores dos Gráficos 2 e 3, determinaram-se as variáveis com mais altos teores nas águas coletadas em poços tubulares (ferro total, potássio, magnésio, cálcio, alumínio e condutividade). A variável manganês, não foi normalizada e, conseqüentemente, foi retirada de todas as análises detalhadas de agrupamento e APC. O poço PT-30 foi considerado um caso anômalo, sendo retirado das análises estatísticas, pois apresentava índices iônicos que extrapolavam dezenas de vezes a média dos outros poços.

No gráfico euclidiano bidimensional (Gráfico 4), exclusivo para poços tubulares, fica evidente a separação de três grupos distintos de águas. O Grupo 1: composto pelas águas dos poços circulados em bege (PT 01, PT 02, PT 11, PT 13 e PT 29); o Grupo 2: circulados em magenta (PT 03, PT 08, PT 19, PT 20 e PT 23) e o Grupo 3 composto pelos poços PT 38 e PT 64, em azul.

O Grupo 1 (5 poços) é composto por poços tubulares que possuem concentração baixa de sais e metais diluídos em suas águas. Ocupam posição à esquerda, justamente opostos à direção dos autovetores das variáveis, ou seja, correlação fortemente negativa. Uma característica comum, aos poços tubulares do Grupo 1, é a natureza litológica granítica sobre a qual se encontram. Também ocupam porções com cotas altimétricas mais elevadas. Hidroquimicamente, são águas mais preservadas, com pouca fonte de poluição de origem superficial nos arredores.

O Grupo 2 (5 poços) congregou poços tubulares cujas águas possuem altas concentrações de cálcio, alumínio, sódio, sulfato e magnésio e, como variável secundária, há o cloro. Obviamente, por possuírem maiores taxas de sólidos totais, a condutividade elétrica também foi destacada. Essas águas subterrâneas são de

poços alocados sobre terrenos de geologia diferenciada. O poço PT 03 localiza-se na planície fluvial do Rio Urussanga, próximo a despejo de esgoto doméstico em área urbana. A água subterrânea do poço PT 03, possivelmente, possui interface com as águas superficiais da bacia. Os poços 08 e 23 situam-se sobre rochas da Formação Rio do Sul e os poços 19 e 20 sobre dique de diabásio. A geologia explica a proximidade desses casos dentro do Grupo 2 no Gráfico 4.

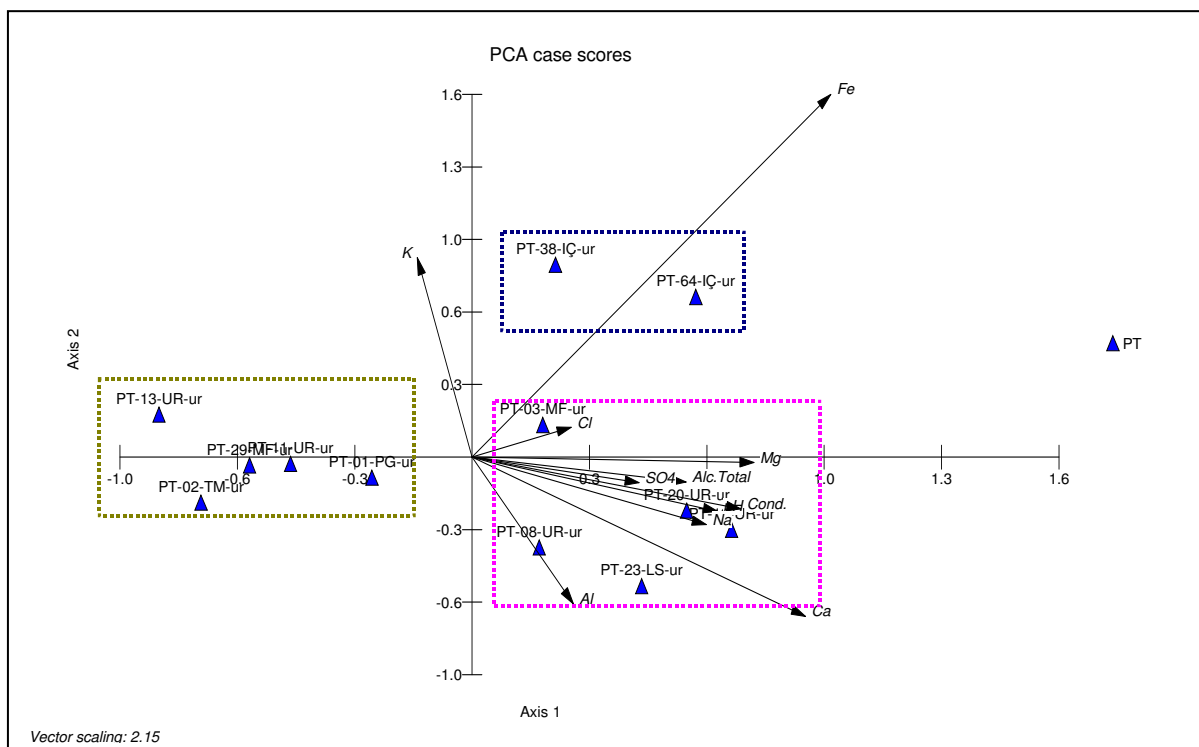


Gráfico 4: Gráfico bidimensional exclusivo para águas de poços tubulares. Percebe-se a separação três grupos distintos de águas.

O Grupo 3 (2 poços), em azul no Gráfico 4 e na Figura 13, apresentou dois pontos isolados, mas representativos no tocante à presença das variáveis ferro e alumínio. É explicável o forte condicionamento pelo autovetor do ferro nessas águas, pois os poços localizam-se nos limites dos Municípios de Criciúma e Içara, área com rochas sedimentares da Formação Rio Bonito. Essas rochas foram, em sua maioria, formadas sob ambiente redutor favorecendo o acúmulo de ferro e sulfatos.

A Figura 13 mostra o dendrograma *modo q* (casos), com a similaridade química das águas dos poços tubulares. Essa análise foi complementar à ACP bidimensional e, nela, averiguou-se a formação dos mesmos grupos: em bege, o Grupo 1, em magenta, o Grupo 2 e, em azul, o Grupo 3.

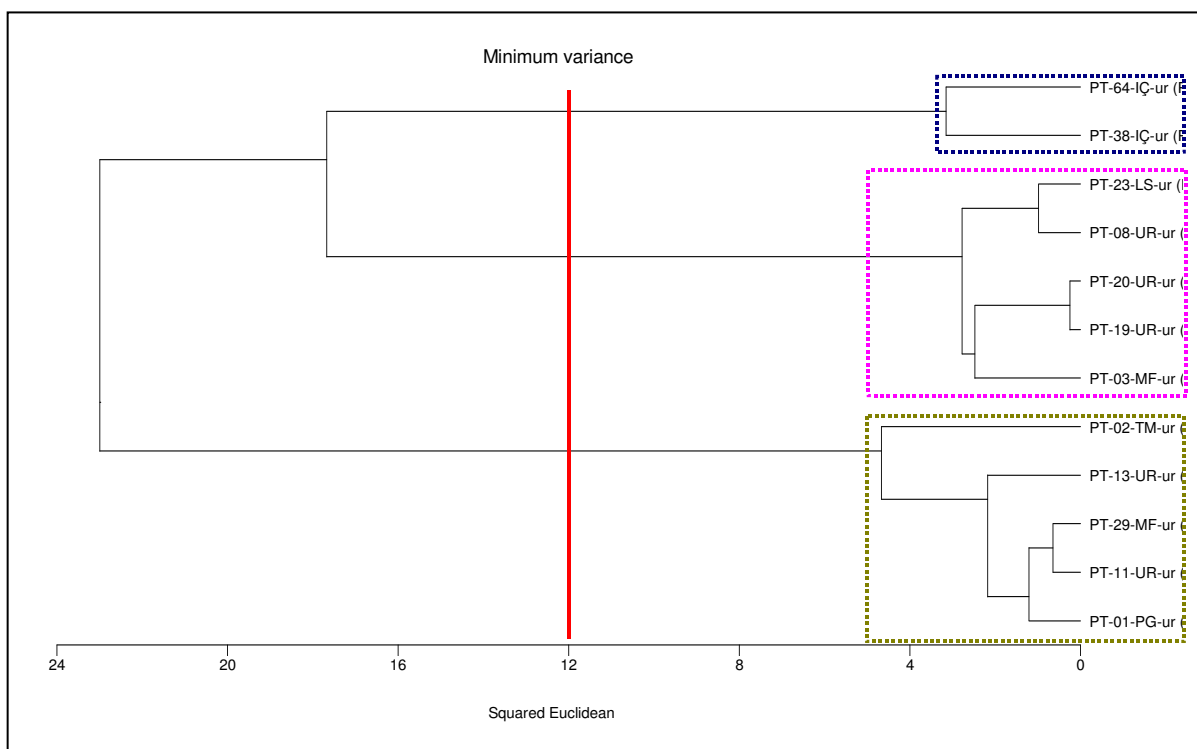


Figura 13: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas de poços tubulares. As cores e os grupos propostos no gráfico bidimensional são coincidentes.

8.2 Ponteiras

As análises procedidas em águas de ponteiras foram mais simples, pois foram apenas cinco. As variáveis escolhidas para a análise de agrupamento dos pontos de coleta de água, correspondentes às ponteiras, foram as seguintes: ferro, cálcio, sulfato, potássio, magnésio e pH. Para aplicação da análise componentes principais foi excluída a variável manganês e trabalhou-se com as demais, resultando em três grupos distintos como segue: em cinza, o Grupo 4 (PO 04); em laranja, o Grupo 5 (PO 08 e PO 21) e, em azul, o grupo 6 (PO 19 e PO 23), expressos no Gráfico 5.

O Grupo 4 apresentou caso fortemente influenciado pelo eixo 1 e pelas variáveis potássio e cálcio. O potássio é comumente empregado em fertilizantes e o cálcio, em grandes quantidades, é indicio de atividade antrópica. Não é comum encontrar quantidade expressiva desses íons em águas captadas sobre sedimentos quaternários, o que reforça a hipótese de alguma fonte de poluição difusa. O proprietário aprofundou a ponteira para solucionar o problema de alteração da qualidade química e organoléptica da água.

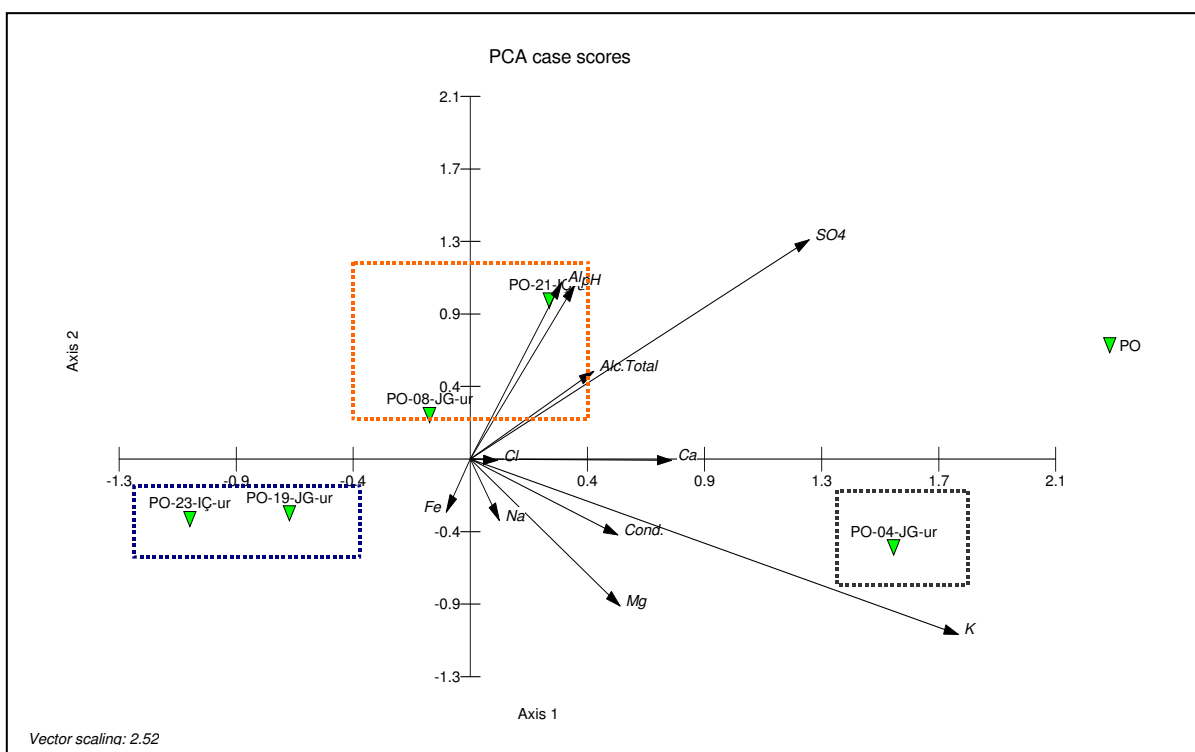


Gráfico 5: Gráfico bidimensional exclusivo para águas de ponteiros. Percebe-se a reunião dos casos em três grupos.

Quanto ao Grupo 5, as variáveis sulfato, alumínio e pH influenciam as águas da ponteira 21, ao passo que a ponteira 08 possui poucos sólidos totais dissolvidos, principalmente pouco magnésio, portanto, baixa condutividade (variáveis que, nessa análise, estão diretamente relacionadas). Na ponteira 08, a água possui poucos sólidos porque é subterrânea somente na teoria. Esta água aparenta ser captada do freático, quando, na verdade, infiltra diretamente de uma lagoa. A qualidade química dessa água não se apresenta comprometida. Na ponteira 21, o alumínio encontrado pode ser explicado pela presença de sedimentos finos que estão colmatando a Lagoa do Rincão, próxima à área de captação da água.

O Grupo 6 apresenta dois pontos com baixos índices de sais e metais, demonstrando-se águas apropriadas para diversas atividades. De maneira complementar à análise de principais componentes, segue abaixo um dendrograma com a reunião dos mesmos grupos de similaridades, identificados em gráfico bidimensional.

No dendrograma abaixo (Figura 14), a linha vermelha representa o nível de corte e o Grupo 4 está em cinza, o 5 em laranja e o 6 em azul.

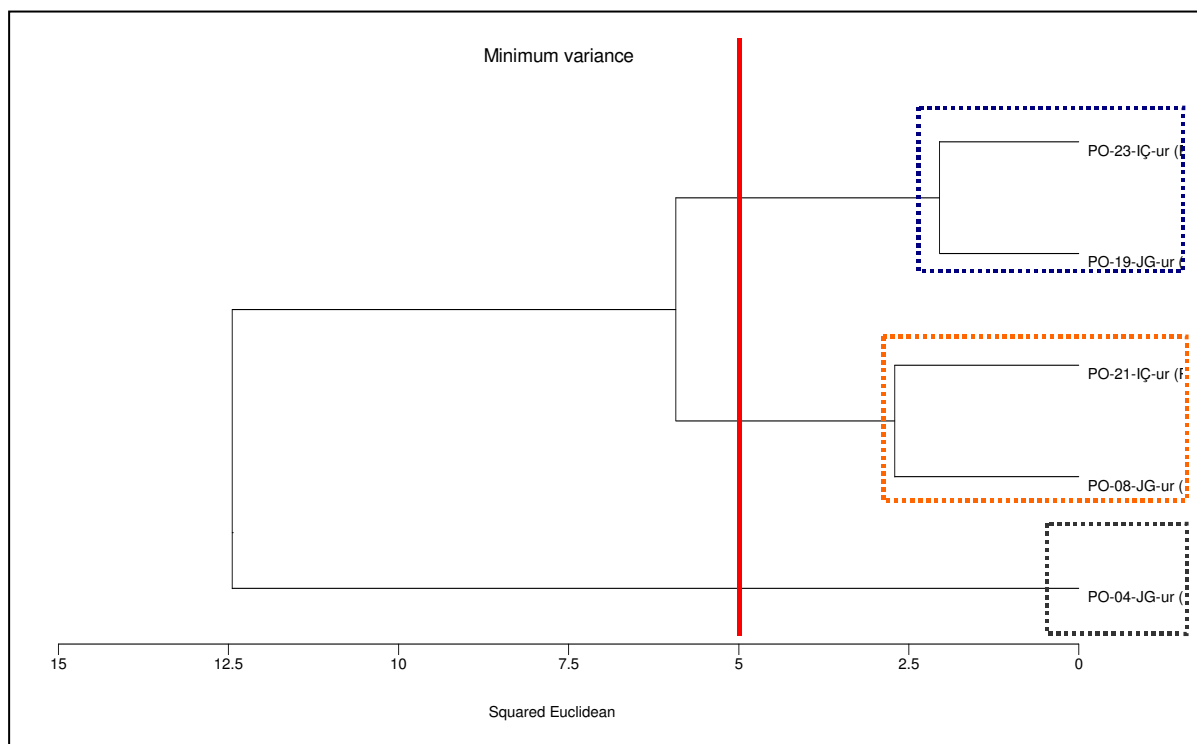


Figura 14: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas de ponteiras. As cores e os grupos propostos no gráfico bidimensional são coincidentes.

As ponteiras dessa análise estão situadas na Planície de Cristas Praiais com Dunas, nos sedimentos quaternários de origem marinha, eólica e praial. Com isso, esperava-se encontrar um peso maior das variáveis cloro e sódio, denotando a contribuição marinha nas águas desses pontos de coleta, fato que não aconteceu. Essa constatação reforça a idéia de as ponteiras estarem drenando água do freático, sem captar a cunha salina do Oceano Atlântico.

8.3 Poços escavados

Os poços escavados foram cadastrados em toda a BRU sobre variadas litologias, desde a planície quaternária até rochas ígneas e sedimentares. No gráfico bidimensional da análise de componentes principais, identificaram-se três grupos espacialmente distintos (Gráfico 6): o Grupo 7, em violeta (PE 16), o Grupo 8, em verde (PE 21) e o grupo 9, em vermelho (PE 41, 66 e 72).

O Grupo 7 possui um poço escavado localizado sobre solo de rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, nas cabeceiras do Rio Carvão, área especificamente cortada por um dique de diabásio. O forte teor da variável magnésio distingue esse poço, bem como os baixos índices de ferro e alumínio. Mesmo

localizado próximo a uma área antigamente minerada, esse poço escavado não apresenta águas com significativas quantias de sulfatos, ferro, manganês ou alumínio. A presença magnesiana justifica-se pelo dique adjacente ao poço.

No tocante ao Grupo 8 (PE 21), também localizado sobre solo residual de rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, as variáveis químicas mais significativas, na composição iônica da água, estão relacionadas à natureza geológica do local. A presença de potássio deve-se ao *clarke* natural dos argilitos, ou utilização de fertilizantes na agricultura. O teor de sulfato é significativo e o de alumínio é alto.

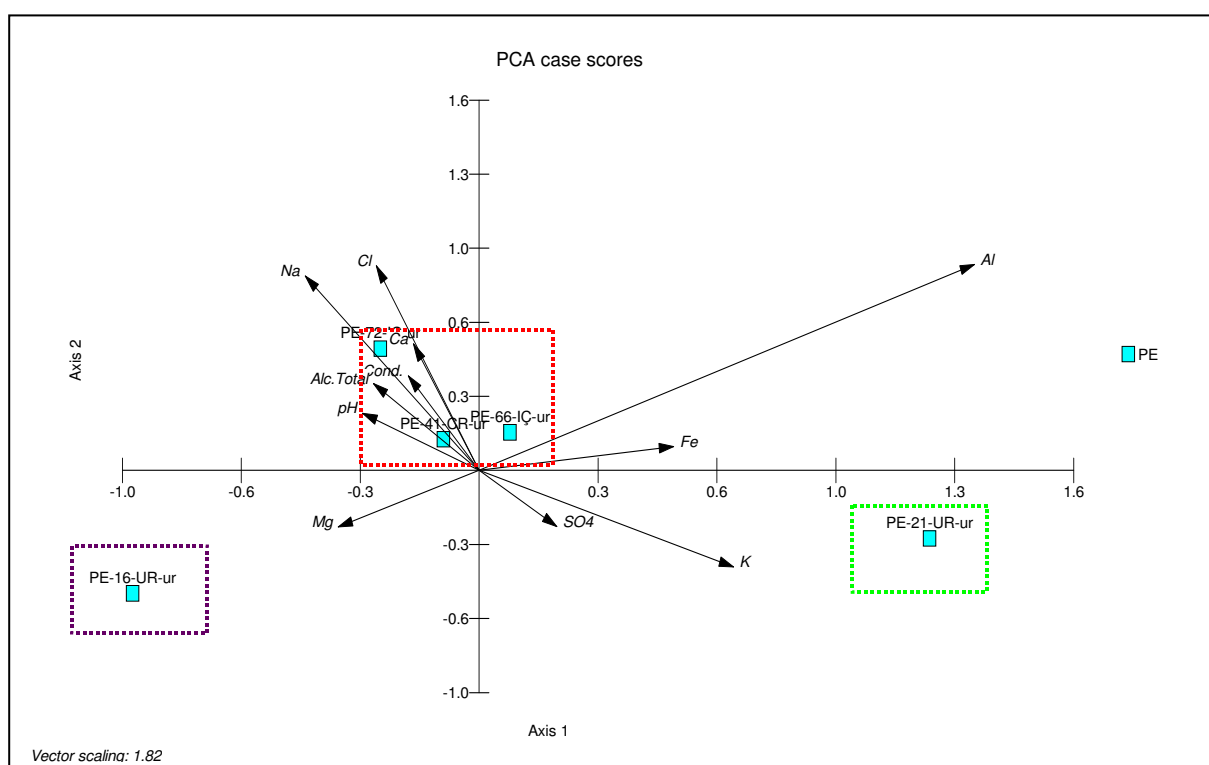


Gráfico 6: Gráfico bidimensional exclusivo para águas de poços escavados. Percebe-se a reunião de três grupos.

O Grupo 9 apresentou as águas, possivelmente mais preservadas quanto à proporção e significância das variáveis. Interessante perceber que a água do poço escavado 72 é salobra devido à alta concentração de cálcio, alcalinidade total. Esse poço localiza-se próximo à foz do Rio Urussanga, em terreno arenoso de idade pleistocênica. O PE 41 localiza-se sobre solo residual da Formação Rio Bonito, possui água levemente salobra, com pouco potássio. A água do poço escavado 66, localizado sobre solo residual do granito, apresentou, como variável preponderante, o alumínio, sendo baixa a quantia de sólidos totais dissolvidos.

Para a análise de agrupamento *modo r* (variáveis) dos poços escavados, foram escolhidas as variáveis mais significantes: potássio, sódio, cloro, alumínio, magnésio e ferro. O dendrograma do *modo q* (casos) ratificou os resultados da ACP (Figura 15).

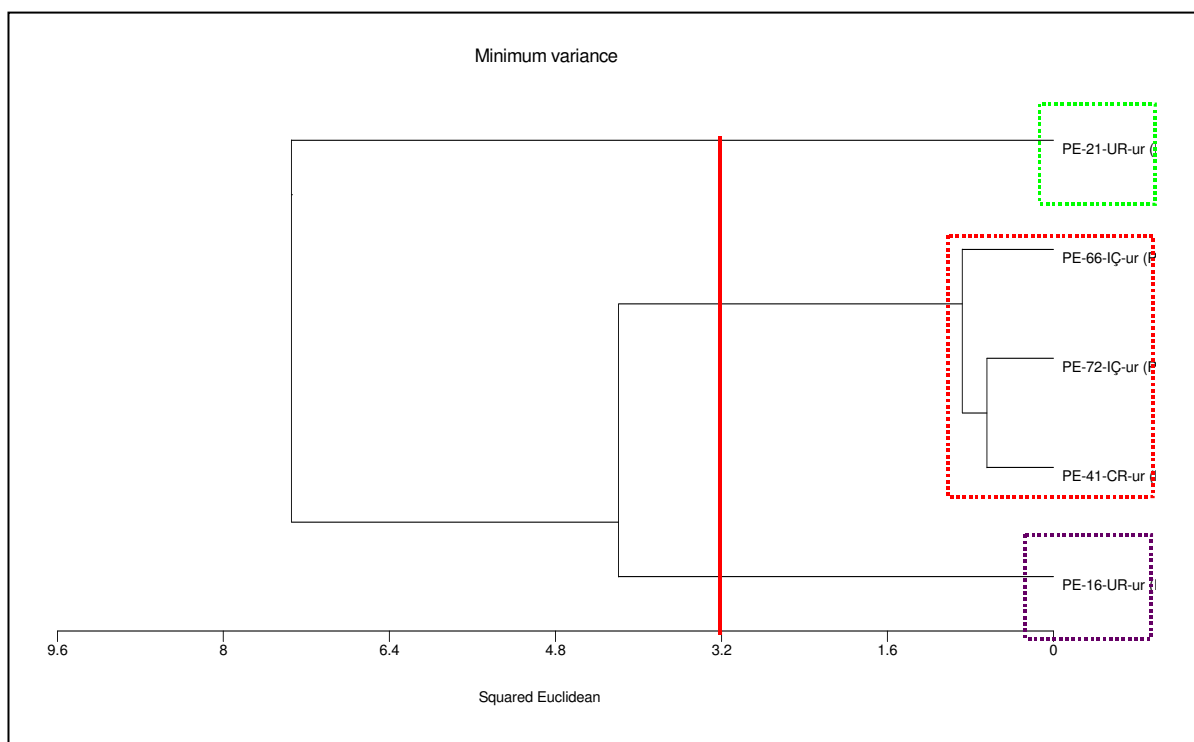


Figura 15: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas de poços escavados. As cores e os grupos propostos no gráfico bidimensional são coincidentes. De forma geral, a análise de agrupamento (*cluster*) complementa e confirma os resultados da análise de componentes principais (ACP).

8.4 Fontes

As análises das águas das fontes ou nascentes também foram organizadas em três grupos. A cor rosa representa o Grupo 10 (FT 01 e 09), a cor azul representa o Grupo 11 (FT 04 e 11) e a cor laranja, o Grupo 12 (FT 06, 36 e 43). As fontes localizam-se nas porções elevadas do terreno dentro da BRU, ou seja, nos extremos da bacia e em algumas outras elevações.

Os pontos de coleta do Grupo 10 estão localizados na área de características ambientais preservadas da BRU, sobre solos residuais da Formação Rio do Sul. Como se pode observar no Gráfico 7, em vermelho, as águas dos dois pontos possuem poucos sólidos totais dissolvidos, com pouca interferência hidroquímica da maioria das variáveis, como sulfato, pH, magnésio. As fontes desse

grupo são fortemente condicionadas pelo eixo 1, ou seja apresentam correlação negativa com cloreto e sódio.

O Grupo 11, em azul, também congrega duas fontes. O substrato rochoso das mesmas é o *sill* do Montanhão, com vegetação local relativamente preservada. Como pode ser visto no Gráfico 7, as variáveis magnésio, o cálcio e a alcalinidade total determinam, preferencialmente, a assinatura hidroquímica dessas águas. O peso das variáveis mencionadas, sobre as águas dessas fontes, é justificado pelo fato de o *sill* ser constituído por rocha básica.

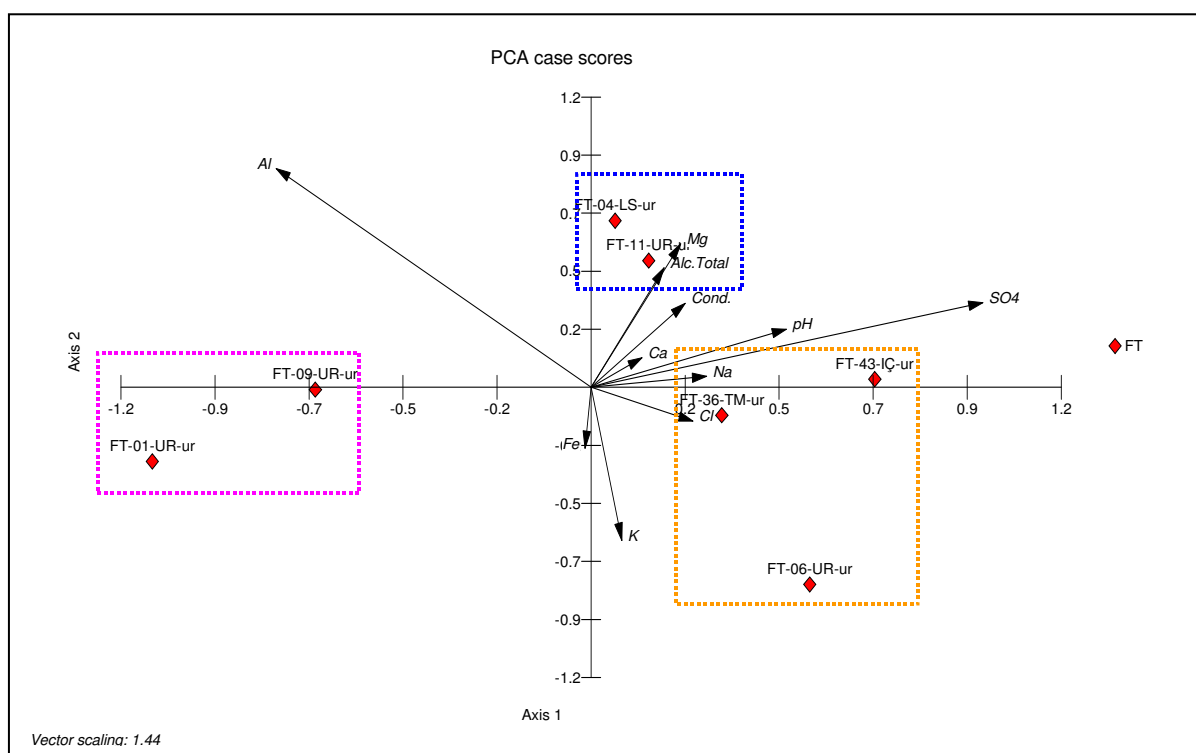


Gráfico 7: Gráfico bidimensional exclusivo para águas de fontes. Também os resultados estatísticos agrupam-se em três subgrupos de fontes.

Existem três fontes componentes do Grupo 12, em laranja, influenciadas pelas variáveis sódio, cloro e potássio. A fonte de número 6 situa-se sobre dique de diabásio, no centro da BRU. Naturalmente, não seria comum encontrar-se cloreto e potássio nessas águas, mas sim magnésio e cálcio. A criação bovina, adjacente à referida fonte pode estar prejudicando a qualidade de suas águas.

Outro caso considerado anômalo é o da FT 36, que se localiza na Planície Fluvial da BRU. Essa fonte tem grande importância neste estudo, pois abastece a cidade de Morro da Fumaça. Os resultados apontaram água levemente cloretada-sódica, o que não condiz com a geologia da planície que, nesse setor, apresentando depósitos provenientes do manto de alteração do granito.

Agroquímicos empregados na rizicultura e pecuária podem estar alterando a qualidade desta água. A fonte 43 situa-se sobre o modelado de Cristas Praiais com Dunas e, naturalmente, apresenta assinatura hidroquímica cloretada-sódica.

Foi feito um dendrograma *modo r* para as fontes, Figura 16, utilizando-se das variáveis potássio, sulfato, cloro, magnésio, alumínio e ferro, para efeito de comparação com a estratégia de ACP. É importante ressaltar que os mesmos subgrupos formados na análise ACP reaparecem visualmente representados na Figura 16 que segue.

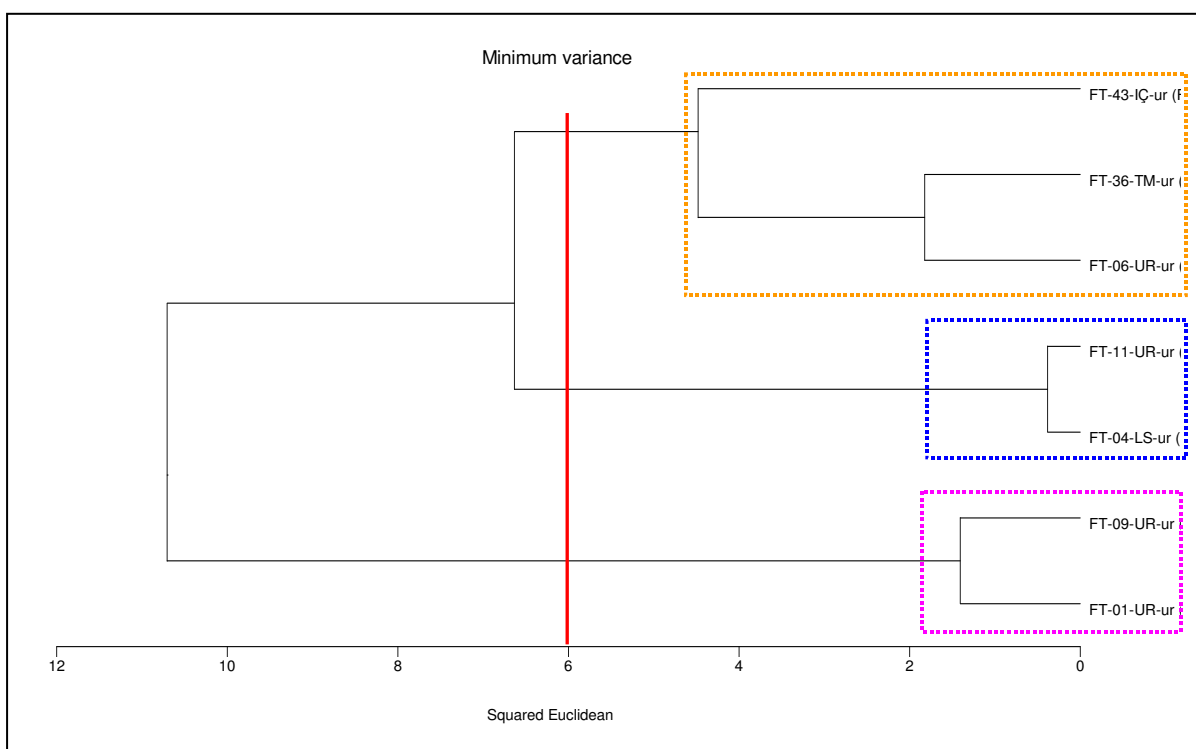


Figura 16: Dendrograma resultante da análise de agrupamento para águas de fontes. As cores foram mantidas em relação ao ACP para facilitar a interpretação. Os subgrupos, 10, 11 e 12 coincidiram.

9 RESULTADOS DOS DIAGRAMAS TRIANGULARES (PIPER), HORIZONTAIS (STIFF) E SEMI-LOGARÍTMICOS (SCHOELLER)

9.1 Apresentação Numérica e Gráfica das Amostras

A apresentação numérica dos resultados das análises das amostras, para elaboração dos diagramas de Piper e Stiff, deve ser expressa em miliequivalentes por litro (meq/l). Dessa forma os dados das análises das amostras da BRU tiveram sua unidade convertida (Quadro 25). Dessa maneira, dados apresentados em miligrama por litro, viáveis para os estudos de estatística multivariada, foram transformados em miliequivalentes por litro.

Quadro 25: Conversão das variáveis de mg/l para meq/l.

ESTACÃO	GRUPO	UTM E	UTM N	pH	Cond. (mS/cm)	Alc.Total	HCO ₃	meqHCO ₃	CO ₂	meqCO ₂	Cl	meqCl	SO ₄	meqSO ₄	Al	meqAl
PT-01-PG-ur	PT	671907	6837960	6,5	129	28,2	34,40146	-0,56396	0,005004	-0,0002	8,8	-0,2482	12,2	-0,2542	1,36	0,151111
PT-02-TM-ur	PT	673591	6835855	6,9	83	14,8	18,05272	-0,29595	0,006444	-0,0002	6,6	-0,1862	12,3	-0,2563	0,78	0,086667
PT-03-MF-ur	PT	671856	6835308	6,8	223	66,8	81,4837	-1,3358	0,024193	-0,0008	9,6	-0,2708	13,6	-0,2833	1,15	0,127778
PT-08-UR-ur	PT	665178	6851012	6,8	248	73,3	89,4105	-1,46575	0,030478	-0,0010	10,1	-0,2849	25,5	-0,5313	1,64	0,182222
PT-11-UR-ur	PT	664000	6844306	5,9	137	37,6	45,87119	-0,75199	0,001601	-0,0001	8,5	-0,2398	14,3	-0,2979	1,62	0,18
PT-13-UR-ur	PT	664672	6839115	5,5	91	7,9	9,63792	-0,158	0,000157	0,0000	9,7	-0,2736	11,9	-0,2479	0,44	0,048889
PT-19-UR-ur	PT	668158	6840082	7,4	419	117,8	143,6297	-2,35458	0,169544	-0,0057	9,6	-0,2708	31,6	-0,6583	1,17	0,13
PT-20-UR-ur	PT	669035	6836215	7,3	354	107,4	130,964	-2,14695	0,125701	-0,0042	17,6	-0,4965	14	-0,2917	1,31	0,145556
PT-23-LS-ur	PT	663615	6834689	7,6	425	110,4	134,5627	-2,20595	0,245774	-0,0082	29,1	-0,8209	22,8	-0,4750	2,1	0,233333
PT-29-MF-ur	PT	674411	6829424	5,6	163	13,2	16,10386	-0,2624	0,000282	0,0000	24,9	-0,7024	0	0,0000	0,91	0,101111
PT-30-MF-ur	PT	675810	6827614	7,7	1858	121,8	148,4008	-2,4328	0,382428	0,0031	498,6	-14,0649	82,5	-1,7188	1,06	0,117778
PT-38-IC-ur	PT	664689	6831766	7,0	210	61,9	75,49951	-1,2377	0,036345	-0,0012	16,5	-0,4654	15,6	-0,3250	0,39	0,043333
PT-64-IC-ur	PT	666828	6824830	6,8	261	72,8	88,8029	-1,45579	0,025767	-0,0009	24,1	-0,6798	17,5	-0,3646	1,09	0,121111
PO-04-JG-ur	PO	681180	6818440	5,6	187	4,7	5,73394	-0,094	0,000118	0,0000	14,8	-0,4175	13,3	-0,2771	0,37	0,041111
PO-08-JG-ur	PO	686310	6820694	5,0	98	1,0	1,219997	-0,02	5,74E-06	0,0000	22	-0,6206	12	-0,2500	0,59	0,065556
PO-19-JG-ur	PO	676488	6814268	5,8	137	3,3	4,025939	-0,066	0,00012	0,0000	19,6	-0,5529	0	0,0000	0,19	0,021111
PO-21-IC-ur	PO	670959	6811283	6,7	82	8,9	10,85657	-0,17798	0,002808	-0,0001	11,6	-0,3272	12,1	-0,2521	0,84	0,093333
PO-23-IC-ur	PO	666991	6808405	4,9	54	0,0	0	0	0	0,0000	8,2	-0,2313	0	0,0000	0,09	0,01
PE-16-UR-ur	PE	660501	6848395	5,2	117	1,3	1,585994	-0,026	1,24E-05	0,0000	10,2	-0,2877	12,6	-0,2625	0,28	0,031111
PE-21-UR-ur	PE	660449	6840518	4,7	92	0,0	0	0	0	0,0000	6,9	-0,1946	21,6	-0,4500	3,5	0,388889
PE-41-CR-ur	PE	666948	6828989	4,8	132	0,0	0	0	0	0,0000	17,4	-0,4908	12,8	-0,2667	1,73	0,192222
PE-66-IC-ur	PE	677224	6823720	4,9	103	0,0	0	0	0	0,0000	14,6	-0,4118	12,6	-0,2625	2,07	0,23
PE-72-IC-ur	PE	675010	6817028	5,4	165	4,6	5,611963	-0,092	7,28E-05	0,0000	20,1	-0,5670	11	-0,2292	1,62	0,18
FT-01-UR-ur	FT	666311	6852782	5,2	37	0,7	0,853997	-0,014	5,95E-06	0,0000	5	-0,1410	0	0,0000	2,38	0,264444
FT-04-LS-ur	FT	657505	6835810	6,3	93	26,7	32,57241	-0,53397	0,00313	-0,0001	6,1	-0,1721	13,6	-0,2833	2,41	0,267778
FT-06-UR-ur	FT	665452	6840990	6,3	52	5,0	6,099666	-0,09999	0,000658	0,0000	7,6	-0,2144	14,8	-0,3083	0,24	0,026667
FT-09-UR-ur	FT	663327	6846426	5,6	73	7,6	9,271912	-0,152	0,000174	0,0000	6,4	-0,1805	0	0,0000	1,91	0,212222
FT-11-UR-ur	FT	665610	6847020	6,7	72	15,8	19,27335	-0,31596	0,005219	-0,0002	4,2	-0,1185	19,8	-0,4125	2,14	0,237778
FT-36-TM-ur	FT	678170	6833223	6,6	68	7,9	9,63706	-0,15798	0,001848	-0,0001	8,7	-0,2454	13,5	-0,2813	1,1	0,122222
FT-43-IC-ur	FT	673664	6815631	6,3	105	3,3	4,025803	-0,066	0,000387	0,0000	15,2	-0,4288	13	-0,2708	0,35	0,038889

ESTACÃO	GRUPO	Ca	meqCa	Fe	meqFe	Mg	meqMg	Mn	meqMn	K	meqK	Na	meqNa
PT-01-PG-ur	PT	1,63	0,0815	0,26	0,0093	2,1	0,1728	0,000	#REF!	1,96	0,0503	15,67	0,6813
PT-02-TM-ur	PT	0,23	0,0115	0,00	0,0000	0,34	0,0280	0,140	0,0000	1,14	0,0292	13,33	0,5796
PT-03-MF-ur	PT	3,12	0,1560	0,71	0,0254	4,38	0,3605	0,000	#REF!	2,70	0,0692	18,68	0,8122
PT-08-UR-ur	PT	6,38	0,3190	0,15	0,0054	5,47	0,4502	0,000	0,0000	1,43	0,0367	15,8	0,6870
PT-11-UR-ur	PT	0,83	0,0415	0,04	0,0014	2,96	0,2436	0,000	0,0000	4,41	0,1131	7,44	0,3235
PT-13-UR-ur	PT	0,25	0,0125	0,00	0,0000	2,01	0,1654	0,000	0,0000	4,69	0,1203	6,91	0,3004
PT-19-UR-ur	PT	19,27	0,9635	0,48	0,0172	6,96	0,5728	0,000	0,0000	1,63	0,0418	42,53	1,8491
PT-20-UR-ur	PT	20,5	1,0250	0,53	0,0190	4,78	0,3934	0,000	0,0000	1,92	0,0492	31,28	1,3600
PT-23-LS-ur	PT	11,19	0,5595	0,05	0,0018	3,29	0,2708	0,000	0,0000	2,30	0,0590	58,9	2,5609
PT-29-MF-ur	PT	0,77	0,0385	0,00	0,0000	2,98	0,2453	0,000	0,0000	2,88	0,0738	19,99	0,8691
PT-30-MF-ur	PT	62,28	3,1140	0,26	0,0093	22,58	1,8584	0,000	#REF!	3,32	0,0851	205,75	8,9457
PT-38-IC-ur	PT	2,13	0,1065	1,68	0,0602	2,19	0,1802	0,480	0,0000	6,98	0,1790	17,28	0,7513
PT-64-IC-ur	PT	1,35	0,0675	2,16	0,0774	6,66	0,5481	0,310	0,0000	3,05	0,0782	28,6	1,2435
PO-04-JG-ur	PO	5,82	0,2910	0,05	0,0018	4,01	0,3300	0,000	0,0000	7,88	0,2021	10,09	0,4387
PO-08-JG-ur	PO	0,3	0,0150	0,00	0,0000	1,75	0,1440	0,000	0,0000	0,86	0,0221	11,23	0,4883
PO-19-JG-ur	PO	1,52	0,0760	0,26	0,0093	2,92	0,2403	0,510	0,0000	0,38	0,0097	13,89	0,6039
PO-21-IC-ur	PO	3,15	0,1575	0,00	0,0000	1,15	0,0947	0,000	0,0000	1,16	0,0297	5,47	0,2378
PO-23-IC-ur	PO	0,37	0,0185	0,00	0,0000	1	0,0823	0,000	0,0000	0,79	0,0203	4,89	0,2126
PE-16-UR-ur	PE	0,96	0,0480	0,00	0,0000	3,75	0,3086	0,000	0,0000	2,13	0,0546	7,49	0,3257
PE-21-UR-ur	PE	0,56	0,0280	0,46	0,0165	1,92	0,1580	0,000	#REF!	5,78	0,1482	2,95	0,1283
PE-41-CR-ur	PE	0,75	0,0375	0,30	0,0107	3,89	0,3202	0,000	0,0000	1,68	0,0431	8,94	0,3887
PE-66-IC-ur	PE	0,59	0,0295	0,07	0,0025	1,64	0,1350	0,370	0,0000	1,82	0,0467	8,87	0,3857
PE-72-IC-ur	PE	3,34	0,1670	0,18	0,0064	2,55	0,2099	0,130	0,0000	2,87	0,0736	13,34	0,5800
FT-01-UR-ur	FT	0	0,0000	0,57	0,0204	0,98	0,0807	0,000	0,0000	1,02	0,0262	2,79	0,1213
FT-04-LS-ur	FT	0,33	0,0165	0,34	0,0122	3,07	0,2527	0,000	0,0000	0,82	0,0210	6,11	0,2657
FT-06-UR-ur	FT	0	0,0000	0,41	0,0147	0,92	0,0757	0,000	0,0000	3,51	0,0900	5,72	0,2487
FT-09-UR-ur	FT	0	0,0000	0,06	0,0021	1,85	0,1523	0,000	0,0000	1,44	0,0369	6,41	0,2787
FT-11-UR-ur	FT	0,32	0,0160	0,19	0,0068	2,26	0,1860	0,000	0,0000	1,16	0,0297	4,32	0,1878
FT-36-TM-ur	FT	0,57	0,0285	0,56	0,0201	1,33	0,1095	0,000	0,0000	1,60	0,0410	7,09	0,3083
FT-43-IC-ur	FT	0,68	0,0340	0,22	0,0079	3,83	0,3152	0,000	0,0000	0,45	0,0115	11,96	0,5200

Numa análise química completa, o número de equivalentes dos cátions e ânions deve ser igual. No Quadro 26 está expressa a quantidade equivalente dos íons mais importantes. Geralmente, a quantidade dos equivalentes de cátions e ânions é usada para diagnosticar a precisão das análises e o conteúdo de constituintes dissolvidos, mas não determinados. Conforme Harvey (1982, p. 294), o conteúdo completo de uma análise, que possibilite a comparação entre os íons, pode ser expressa pelo Quadro 27.

Quadro 26: Quantidade Equivalente

Na ⁺	22.9898	Fe ⁺⁺	27.9235	NO ₃ ⁻	62.005
K ⁺	31.102	Mn ⁺⁺	27.469	SO ₄ ⁻	48.031
Ca ⁺⁺	20.04	CO ₃ ⁻	30.005	Cl ⁻	35.453
Mg ⁺⁺	12.156	HCO ₃ ⁻	61.017		

Fonte: Harvey (1982, p. 293).

Quadro 27: Exemplo de Balanço Iônico

Cátions	mg/l	meq/l	Ânions	mg/l	meq/l
Na ⁺	8.26	0.3593	HCO ₃ ⁻	357.5	5.86
K ⁺	1.17	0.0299	Cl ⁻	12.8	0.3610
Ca ⁺⁺	84.3	4.207			6.22
Mg ⁺⁺	25.5	2.098			
		6.69			

Fonte: Harvey (1982, p. 294).

Como a quantidade de cátions e ânions não coincide, a análise química não foi completa. O déficit dos ânions foi, provavelmente, causado pela presença de carbonato que não foi contemplado na análise. Para estimar o erro no balanço iônico, a técnica usual é a seguinte:

$$e = (rc - ra / rc + ra) \times 100$$

rc = soma dos cátions (meq/l)

ra = soma dos ânions (meq/l)

quando o resultado for maior que 5% as análises não contemplaram algum cátion ou ânion. No caso do Quadro 27, $e = 3,6\%$, os resultados da análise do exemplo são aceitáveis.

As transformações das amostras coletadas na BRU, de mg/l para meq/l (Quadro 25), evidenciaram que o balanço iônico não foi obtido, pois houve déficit de

ânions, provavelmente, porque não foi analisada a variável bicarbonato (HCO_3^-). Desta forma, a diferença no balanço entre os íons pode ser explicada e determinada. Os resultados desse equilíbrio iônico podem ser afetados pela quantidade de H^+ ou OH^- , especialmente quando o pH for diferente de neutro.

Segundo Harvey (1982, p. 295), nas águas ácidas, o conteúdo de H^+ , que se desprende do HCO_3^- , é elevado, dando origem ao carbonato (CO_3^{2-}). Pela média dos valores de pH, estima-se a quantidade do ânion HCO_3^- molecular ou o resultado de sua quebra em H^+ ou CO_3^{2-} . Assim, os dados do Quadro 25, convertidos em meq/l, apresentam HCO_3^- e o CO_3^{2-} obtidos pela diferença do balanço iônico e alterações do pH da água, respectivamente, que somados às outras 12 variáveis totalizam 14.

A intenção das representações gráficas de resultados analíticos é simplificar a comparação de diferentes análises. Em qualquer estudo hidroquímico, é conveniente visualizar os dados químicos para serem observadas possíveis relações. Neste estudo, foram empregados diagramas multivariados que proporcionam uma comparação rápida. Os resultados das análises podem ser plotados em valores absolutos (meq/l) ou em meq %.

9.2 Diagramas Triangulares de Piper

Foram elaborados cinco diagramas triangulares para os trinta casos e as 14 variáveis examinadas nos estudos das águas subterrâneas da Bacia do Rio Urussanga. Os casos foram reunidos conforme a modalidade da coleta: poço tubular, ponteira, poço escavado e fonte. Dessa forma, foi possível comparar os dados dos diagramas triangulares de Piper com os resultados obtidos nas técnicas de ACP e de agrupamento, ambos de estatística multivariada. O Diagrama 1 reúne todos os casos da coleta de água subterrânea na BRU:

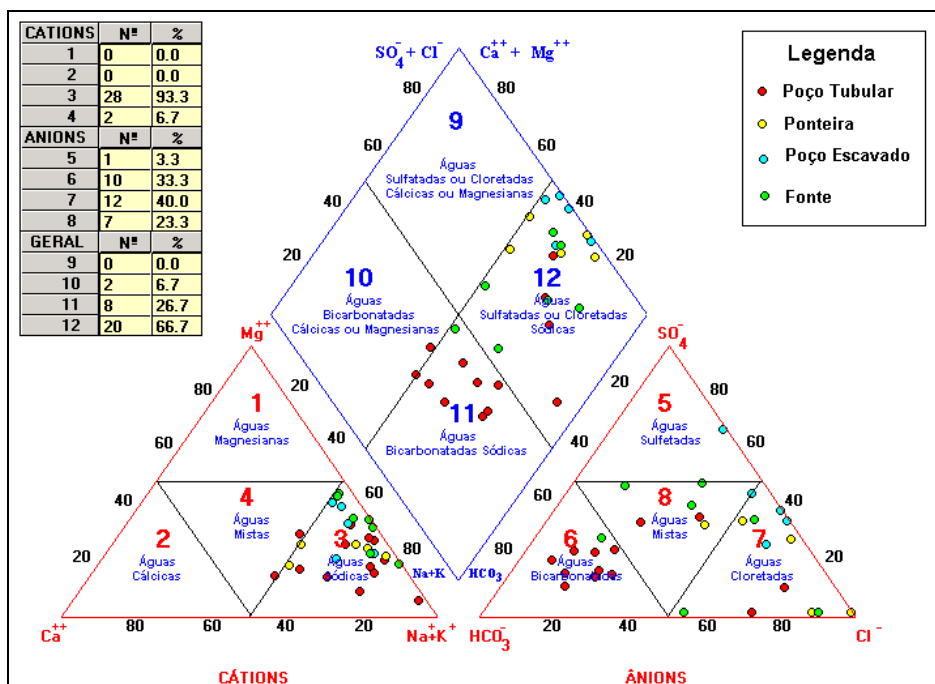


Diagrama 1: Diagrama de Piper para todos os casos.

De maneira geral, fica evidente que as amostras tomadas em poços tubulares (vermelho), possuem natureza hidroquímica diferente dos poços escavados, ponteiras e fontes. Enquanto as águas de poços tubulares pertencem a aquíferos profundos, as ponteiras e poços escavados representam as águas do aquífero freático, assim como algumas fontes (nascentes).

Quanto aos cátions, tanto em poços tubulares, quanto nos demais, as águas, em sua maior parte, foram sódicas, com apenas duas exceções com águas mistas, mas com viés sódico. O posicionamento dos ânions evidencia que as águas de poços tubulares concentram-se no campo das bicarbonatadas, o mesmo não acontecendo para fontes, poços escavados e ponteiras, onde prevaleceu o campo de águas cloretadas, com um fraco viés de água sulfatada e mista.

Na soma geral de cátions e ânions, as águas de poços tubulares possuem, na sua maioria, assinatura hidroquímica bicarbonatada sódica, ao passo que as demais foram, preferencialmente, sulfatadas ou cloretadas sódicas. No Diagrama 1, ainda pode-se perceber a existência de um de poço tubular com água diferente das demais, assim como três casos que se assemelham às águas do freático. Essas mesmas observações foram averiguadas nos gráficos euclidianos bidimensionais (Gráfico 2, no capítulo 8), demonstrando que os diagramas ternários de Piper são complementos dos gráficos bidimensionais de ACP.

9.2.1 Poços Tubulares

As águas coletadas nos poços tubulares possuem natureza hidroquímica semelhante entre si, se comparadas com as águas do freático. Todavia, quando examinadas detalhadamente, mostram diferenças significativas (Diagrama 2). Essas diferenças podem estar relacionadas ao aquífero de origem dessas águas e aos constituintes dissolvidos, determinando diferentes potenciais de uso.

De acordo com o diagrama de Piper para poços tubulares, no campo dos cátions, as águas são sódicas, com duas exceções em que são mistas, mas com viés sódico. No campo dos ânions, prevaleceram águas bicarbonatadas, com duas amostras mistas e duas cloretadas. Na soma de ânions e cátions, a classificação das águas coletadas em poços tubulares apresentou, em sua maioria, uma assinatura bicarbonatada sódica.

Se comparado com os gráficos euclidianos, o diagrama de Piper empregado para poços tubulares, não apresentou detalhes das principais variáveis influentes sobre os casos. Entretanto, mostrou-se capaz de indicar a similaridade hidroquímica entre os casos, classificando os tipos de água.

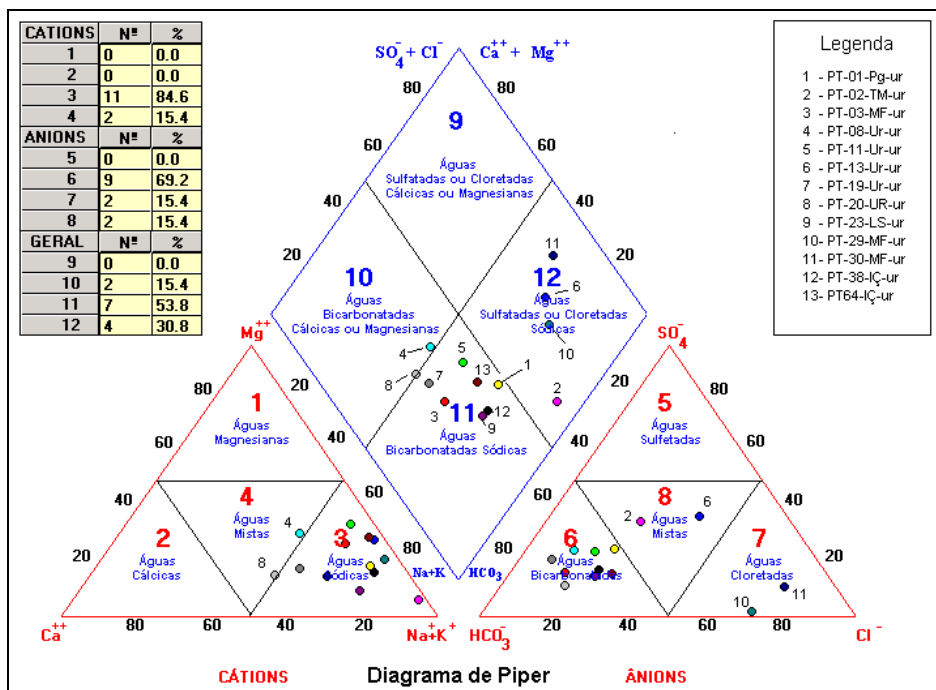


Diagrama 2: Diagrama de Piper para poços tubulares.

9.2.2 Ponteiras

As águas coletadas em ponteiras apresentaram assinatura hidroquímica cloretada-sódica. Isso acontece pelo fato de serem águas do freático, localizadas sobre depósitos arenosos, predominantemente quartzosos, que possuem cloreto e sódio na matriz constituinte de seus terrenos.

Conforme o Diagrama 3, no campo dos cátions, as cinco amostras de águas de ponteiras apresentaram-se sódicas, com pouco cálcio e magnésio. No campo dos ânions, quatro dos casos possuem águas cloretadas e um, mista. Na conjugação dos resultados no balanço iônico, os resultados do diagrama ternário demonstraram estar de acordo com as expectativas, pois tratam-se de águas localizadas em terrenos próximos ao mar.

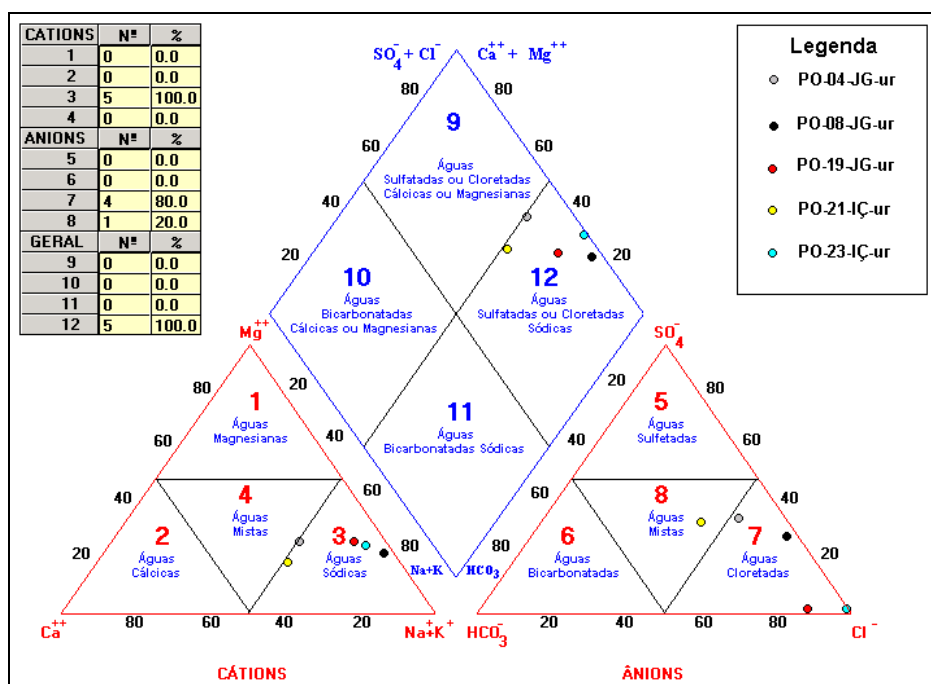


Diagrama 3: Diagrama de Piper para ponteiras.

9.2.3 Poços Escavados

Nos poços escavados, as águas apresentaram assinatura hidroquímica cloretada sódica, com exceção do poço PE 21, que apresentou água com viés sulfatado. Os poços PE 16 e PE 41, próximos no Diagrama 4, situam-se sobre área de rochas sedimentares da Formação Rio Bonito.

O poço PE 66, localizado sobre saibro granítico, mesmo com água cloretada sódica, apresentou assinatura pouco diferenciada. Já, o poço PE 21 situa-se em área afetada por atividade de mineração carbonífera e possui água com qualidade alterada, como observado no campo dos ânions do Diagrama 4, com forte tendência sulfatada. O poço escavado 72 localiza-se em terreno com areias pleistocênicas e apresentou água cloretada sódica.

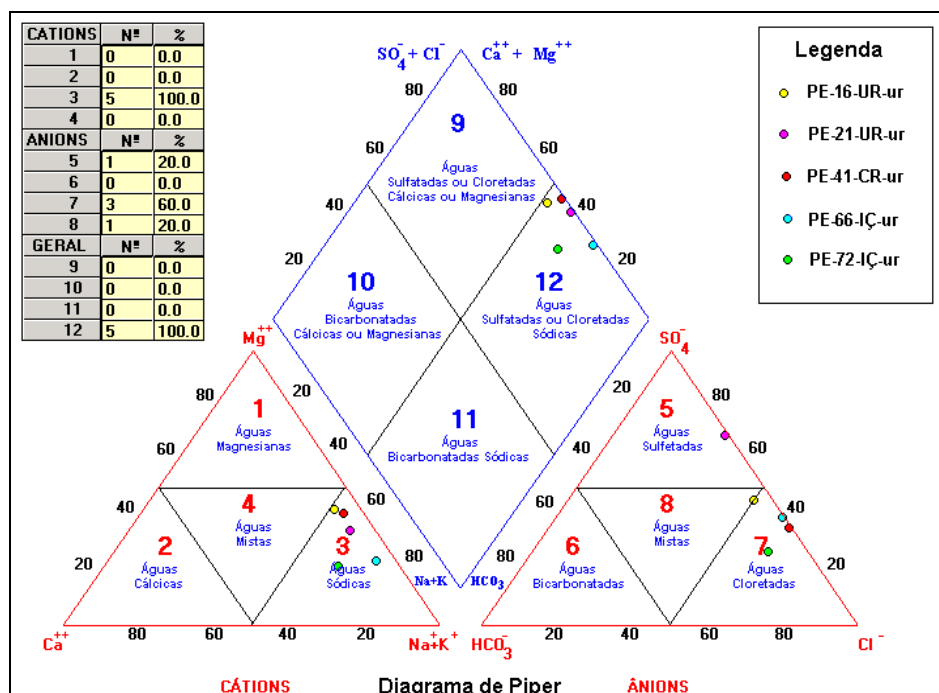


Diagrama 4: Diagrama de Piper para poços escavados.

9.2.4 Fontes ou Nascentes

As águas de fontes na BRU são usadas para abastecimento familiar, sendo que, na maioria das vezes, não passam por prévio tratamento. Infelizmente, devido a essa grande importância, deveriam ser amostradas mais fontes, pois as sete amostradas neste estudo demonstraram particularidades e assinaturas um pouco diferenciadas, conforme o Diagrama 5.

No campo dos cátions, as sete fontes apresentaram águas sódicas. Já, no que se refere aos ânions, as águas variaram de cloretadas, passando por mistas, até bicarbonatadas. No balanço iônico, têm-se uma predominância de águas cloretadas sódicas, seguidas pelas sulfatadas (FT 06 e 11) e apenas uma bicarbonatada sódica (FT 04).

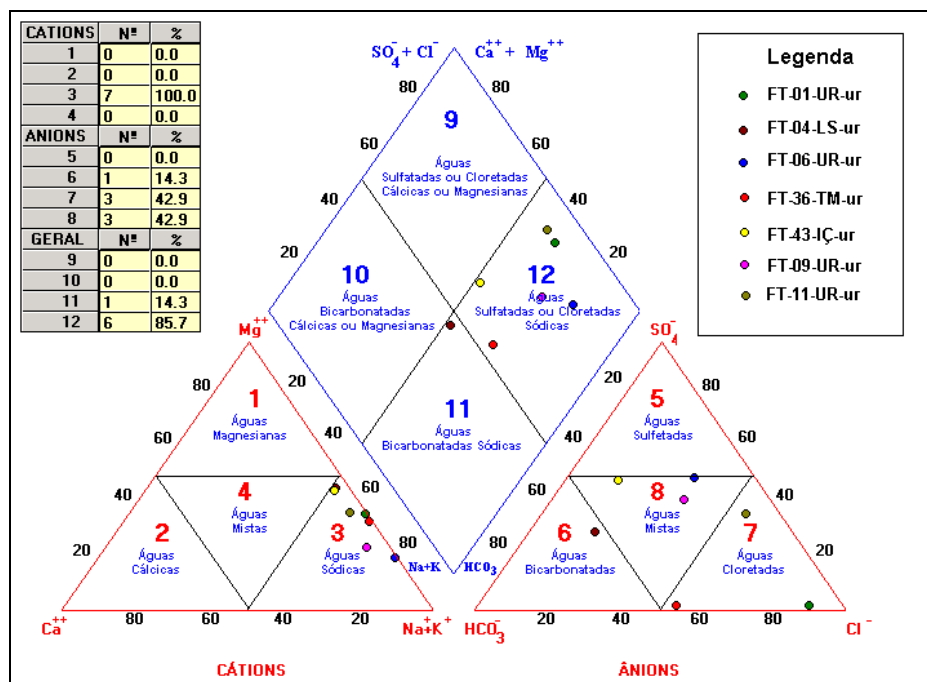


Diagrama 5: Diagrama de Piper para fontes.

9.3 Diagramas Horizontais de Stiff

Os diagramas horizontais de Stiff complementaram a visualização das diferentes assinaturas hidroquímicas, encontradas através dos diagramas ternários de Piper, para os trinta casos de águas subterrâneas da BRU. A representação desse diagrama horizontal teve finalidade meramente visual e comprobatória da análise ternária. Quanto mais afastado ficou o ponto representativo do íon, em relação ao eixo vertical central, maior a correlação dessa água com os cátions, à esquerda, e os ânions, à direita. Acima do diagrama, uma barra horizontal vermelha demonstra a quantidade de meq/l de cada íon.

Dentre os poços tubulares, sete apresentaram águas com assinatura hidroquímica bicarbonatada sódica, a saber: PT 01, PT 03, PT 11, PT 19, PT 23, PT 38 e PT 64. Abaixo, seguem os diagramas horizontais desses poços, afirmando a natureza bicarbonatada sódica que foi averiguada no diagrama ternário (Diagramas 6 a 12).

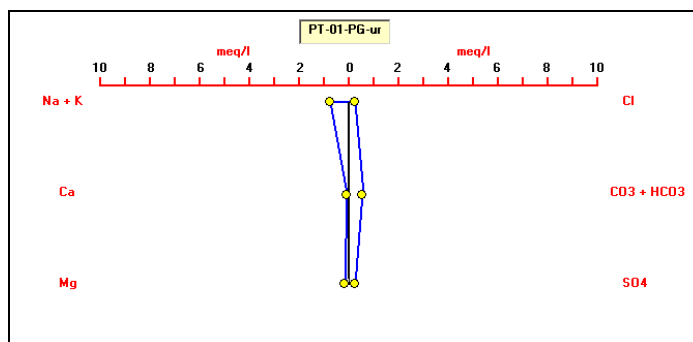


Diagrama 6: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 01.

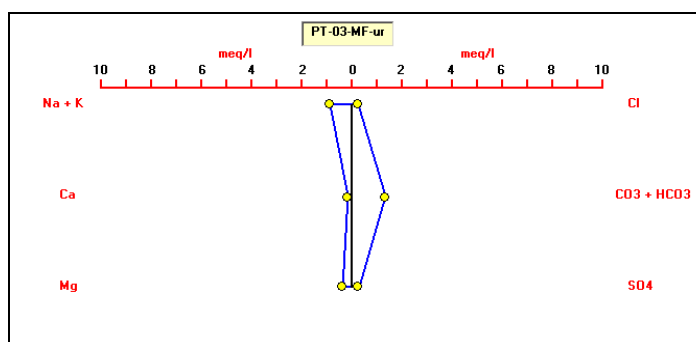


Diagrama 7: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 03.

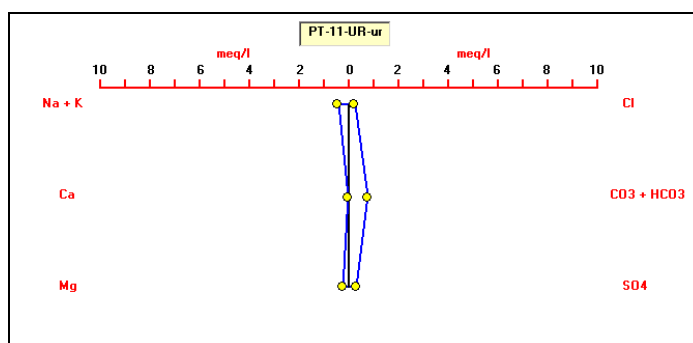


Diagrama 8: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 11.

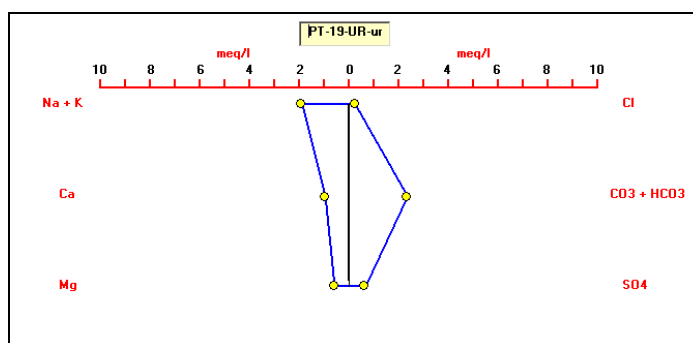


Diagrama 9: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 19.

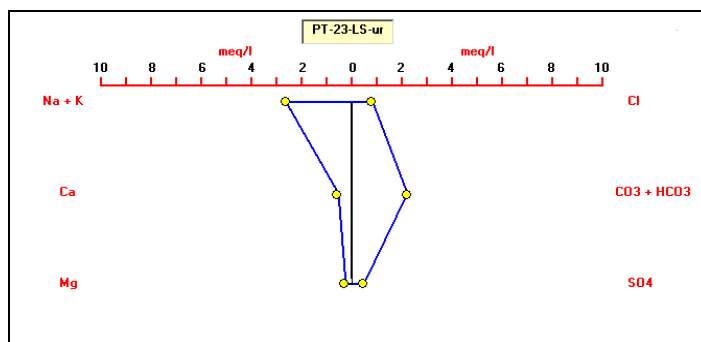


Diagrama 10: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 23.

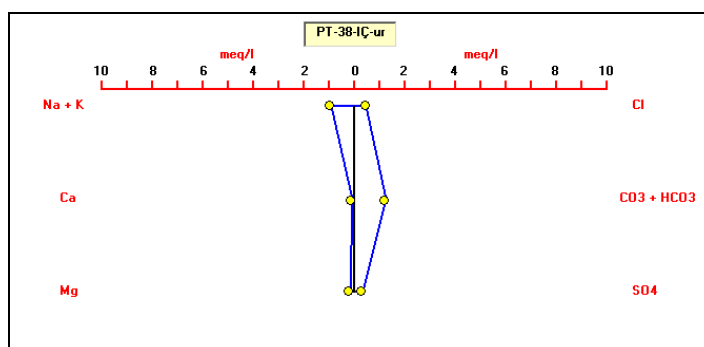


Diagrama 11: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 38.

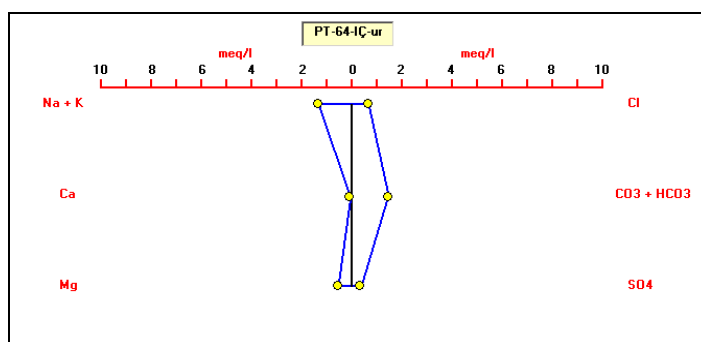


Diagrama 12: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 64.

Quanto mais horizontalizado o polígono formado pela combinação iônica (em azul), maior a carga de sólidos totais dissolvidos que a água carrega. Assim, as águas dos poços 01 e 03 (Diagramas 6 e 7) são bicarbonatadas sódicas, mesmo possuindo quantidade de íons inferior aos poços 19 e 23 (Diagramas 9 e 10), que também apresentam a mesma assinatura hidroquímica. Alguns poços tubulares apresentaram águas cloretadas sódicas, como foi o caso dos poços: PT 02, PT 13, PT 29 e PT 30. Os diagramas de Stiff (Diagrama 13 a 16) elucidam tal assinatura:

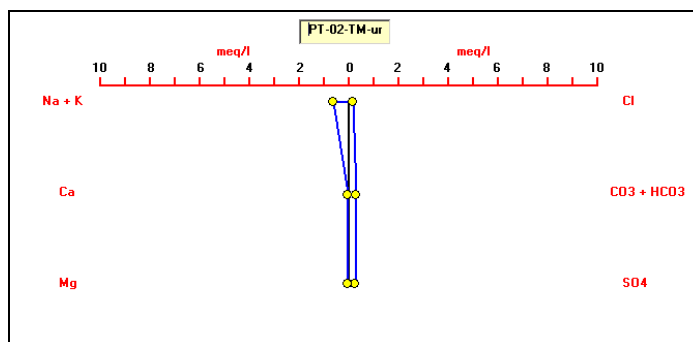


Diagrama 13: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 02.

Mesmo apresentando assinatura cloretada sódica, conforme o diagrama de Piper, o diagrama de Stiff deixou claro que, na água do poço tubular 02 (Diagrama 13), os ânions possuem peso similar, não prevalecendo o cloreto. Ao juntar as observações dos campos dos ânions no Diagrama 13, percebeu-se que essa água possui forte viés bicarbonatado.

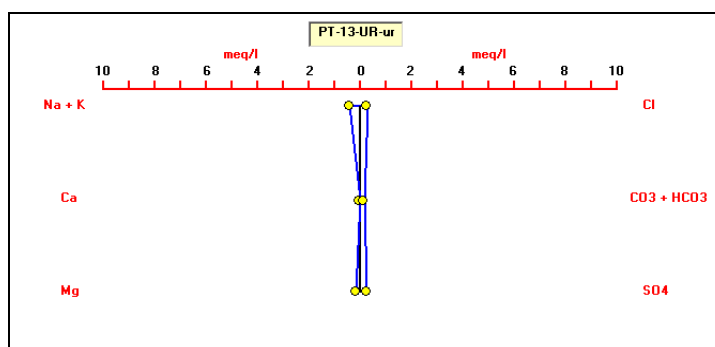


Diagrama 14: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 13.

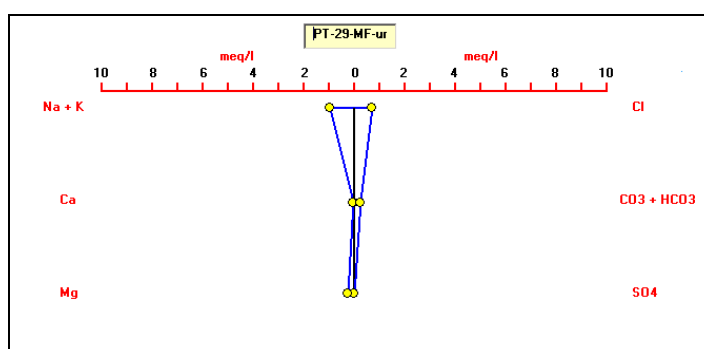


Diagrama 15: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 29.

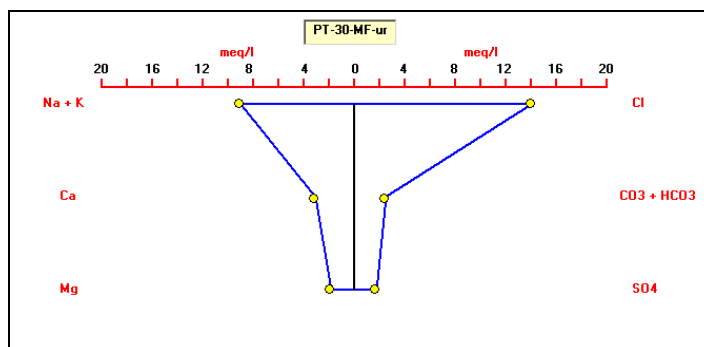


Diagrama 16: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 30.

As águas dos poços 2 e 13 (Diagramas 13 e 14) são similares, pois possuem assinatura do cátion bem definida, mas um equilíbrio nos ânions. Essas águas carregam poucos sólidos totais dissolvidos. Já, a água do poço 29 (Diagrama 15) é claramente cloretada sódica, ao passo que, para representar a água do poço 30 (Diagrama 16), a escala do gráfico teve de ser alterada, pois essa água é altamente salobra, com grande carga iônica.

Dois poços tubulares (08 e 20, Diagramas 17 e 18) apresentaram águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, resultados corroborados pela localização dos poços próximos a diques de diabásio. Nesses dois casos, as águas também se apresentaram com muitos sólidos totais e o poço 20 possui forte viés sódico. Os dois diagramas de Stiff para esses casos seguem abaixo:

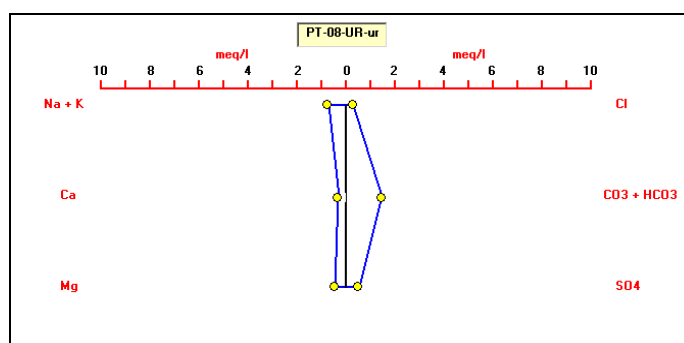


Diagrama 17: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 08.

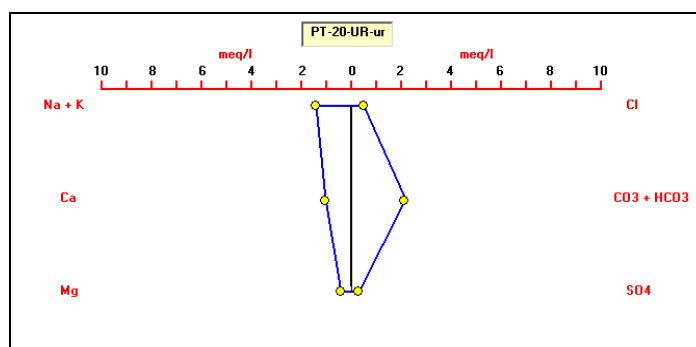


Diagrama 18: Diagrama de Stiff da água do poço tubular 20.

As águas coletadas em poços ponteiros também foram analisadas nos gráficos horizontais de Stiff. A localização dos pontos amostrados foi determinante para os resultados que foram obtidos. Essas ponteiros localizadas sobre o modelado de acumulação da Planície de Cristas Praiais com Dunas, portanto, área de origem praial e eólica frente ao oceano, captando água do aquífero poroso, apresentaram assinatura cloretada sódica. Essa constatação já havia sido feita com os diagramas ternários.

Como segue abaixo, o Diagrama 19 representativo da ponteira 04, demonstrou que a mesma possui um pequeno viés cálcico-magnesiano.

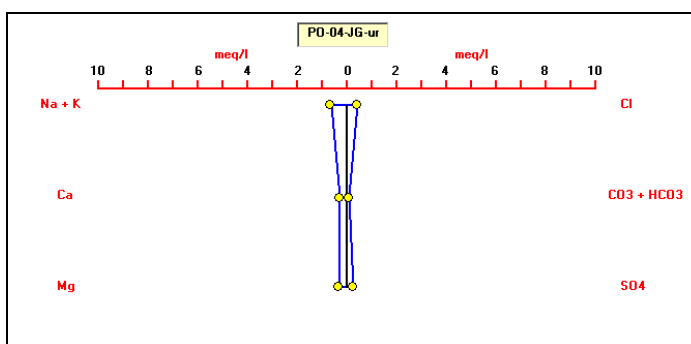


Diagrama 19: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 04.

Na análise estatística multivariada, as águas das ponteiros 08 e 21 foram similares, assim como as ponteiros 19 e 23. Esse resultado não se repetiu com a análise dos diagramas de Stiff, isso porque as águas das ponteiros 08 e 19 (Diagrama 20, 21) possuem a mesma distribuição iônica, mais cloretada sódica que águas de outras ponteiros, com quantidades de sólidos totais dissolvidos muito próximas. Cabe ressaltar que a análise de agrupamento e ACP foi mais completa, pois além dos íons abordados no diagrama de Stiff, contemplava a quantidade de ferro, alumínio, manganês e também a condutividade e o pH de cada água. Os diagramas de Stiff para as referidas ponteiros são os Diagramas 20 a 23:

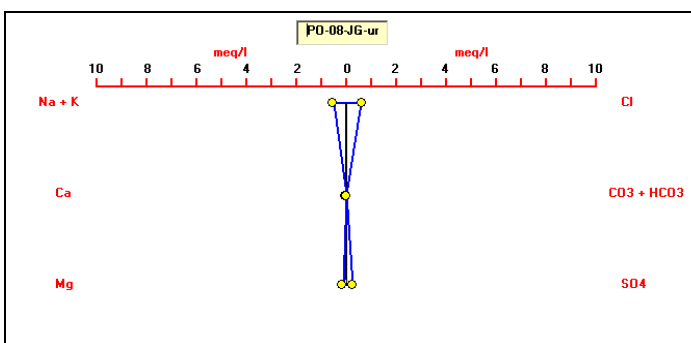


Diagrama 20: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 08.

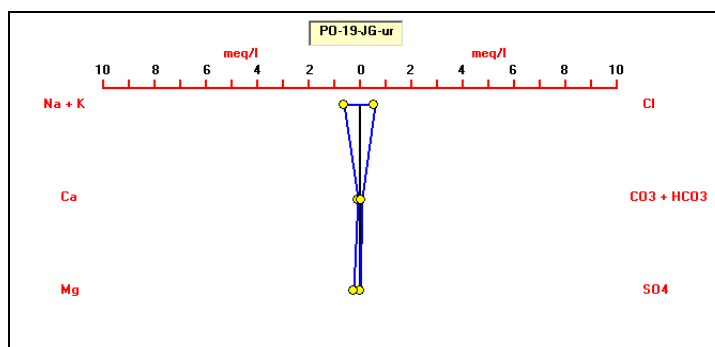


Diagrama 21: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 19.

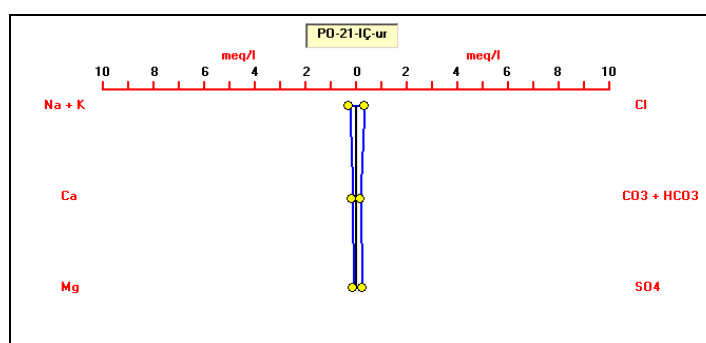


Diagrama 22: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 21.

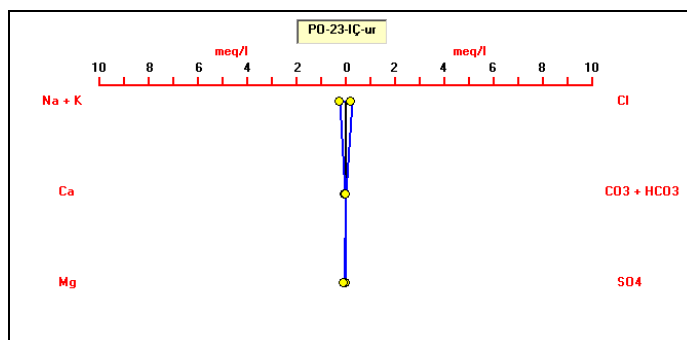


Diagrama 23: Diagrama de Stiff para a água da ponteira 23.

Nos poços escavados, as águas apresentaram assinatura hidroquímica cloretada sódica nos PE 41, PE 66 e PE 72 (Diagramas 24, 25, 26), estando, esse último, localizado sobre terreno arenoso pleistocênico, ficando mais evidente a quantidade de cloreto e sódio.

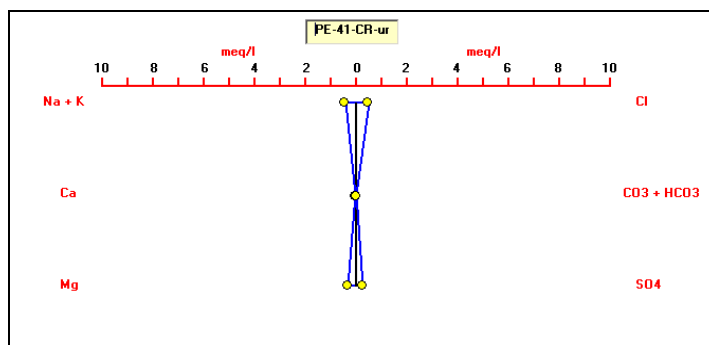


Diagrama 24: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 41.

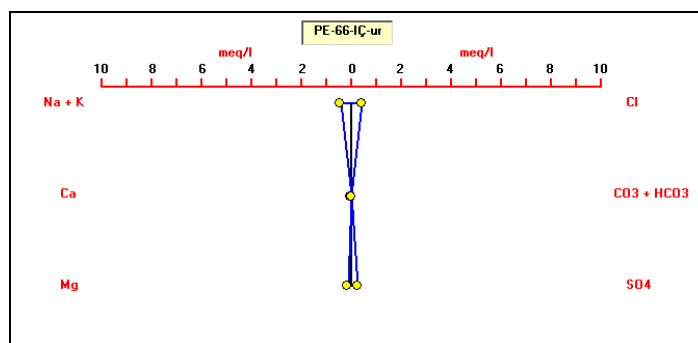


Diagrama 25: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 66.

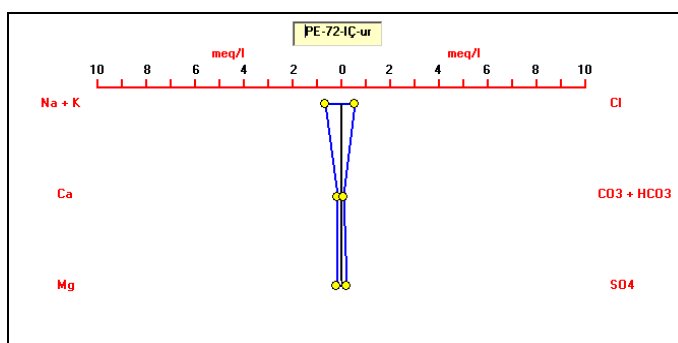


Diagrama 26: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 72.

No poço 16 (Diagrama 27), a água apresentou a mesma assinatura, todavia com viés sulfatado. No poço 21 (Diagrama 28), a água se apresentou, no diagrama de Piper e nos resultados estatísticos, como água poluída. Esta constatação foi difícil de ser visualizada no diagrama de Stiff, no entanto percebe-se que a quantidade do íon sulfato é maior que os demais íons presentes na água deste poço.

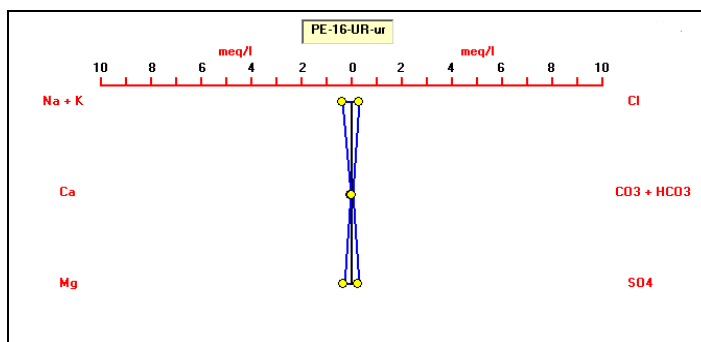


Diagrama 27: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 16.

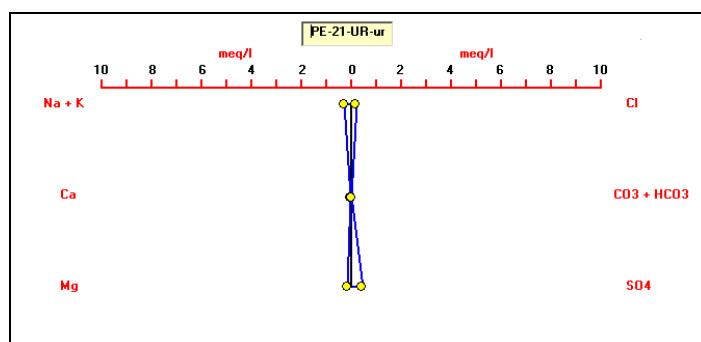


Diagrama 28: Diagrama de Stiff para a água do poço escavado 21.

As fontes apresentaram, nos diagramas de Stiff, resultados particulares, levando à conclusão da diversidade de águas naturais existentes nos limites da BRU. As diferentes assinaturas encontram respostas, muitas vezes, nas litologias sobre as quais as fontes se situam. Por exemplo, as fontes de números 01 e 09 (Diagramas 29 e 30), localizam-se sobre solo residual da Formação Rio do Sul e apresentaram águas com assinatura levemente cloretada sódica, como se pode verificar nos Diagramas 29 e 30:

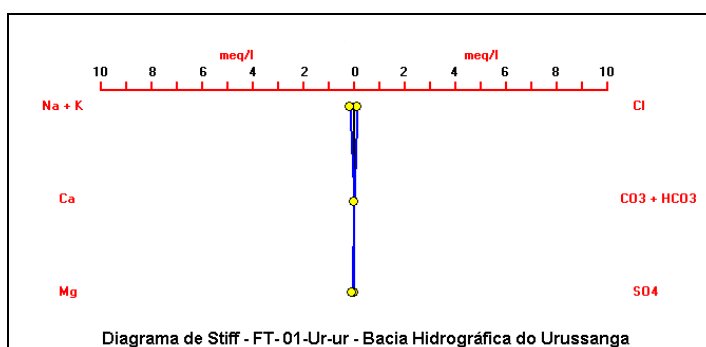


Diagrama 29: Diagrama de Stiff para a água da fonte 01.

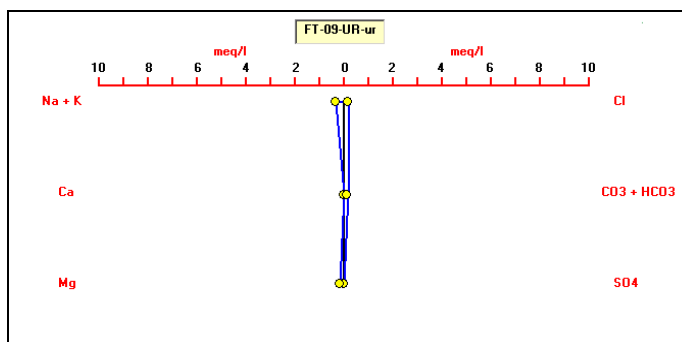


Diagrama 30: Diagrama de Stiff para a água da fonte 09.

As fontes 04 e 11, localizadas no *Sill* do Montanhão, apresentaram águas com assinaturas hidroquímicas diferentes, a primeira bicarbonatada sódica e a segunda, sulfatada sódica. No entanto, ambas apresentaram viés magnésiano, como segue nos Diagramas 31 e 32:

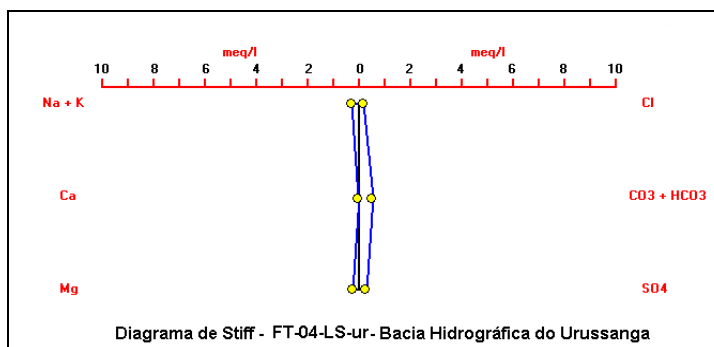


Diagrama 31: Diagrama de Stiff para a água da fonte 04.

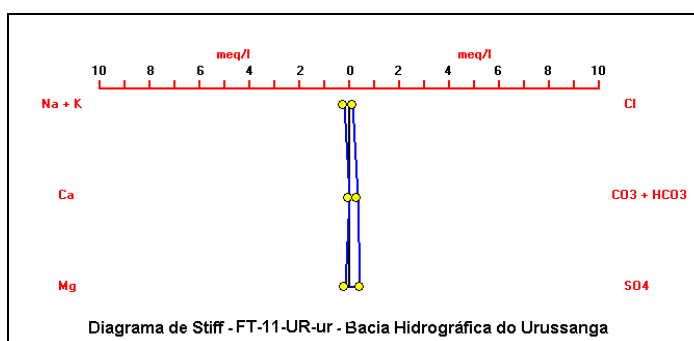


Diagrama 32: Diagrama de Stiff para a água da fonte 11.

A fonte 06 (Diagrama 36) apresentou água sulfatada sódica, com viés cloretado, não condizente com seu substrato de dique de diabásio. A FT 36 (Diagrama 34) apresentou água cloretada sódica com viés bicarbonatado e a FT 43 (Diagrama 35) água cloretada sódica, com viés magnésiano e sulfatado.

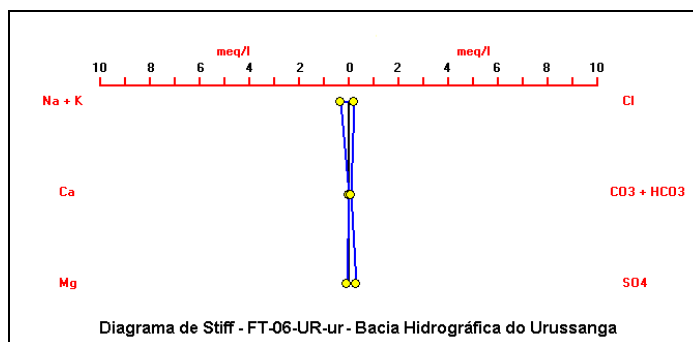


Diagrama 33: Diagrama de Stiff para a água da fonte 06.

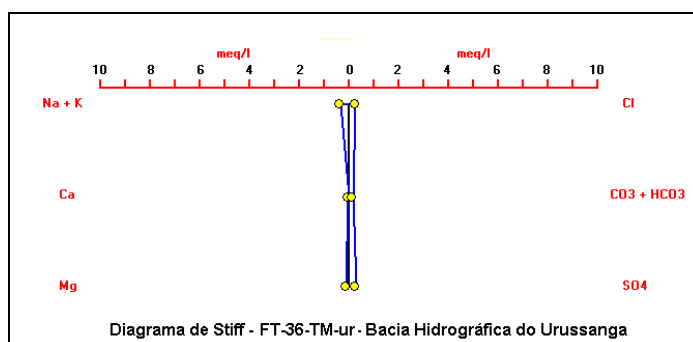


Diagrama 34: Diagrama de Stiff para a água da fonte 36.

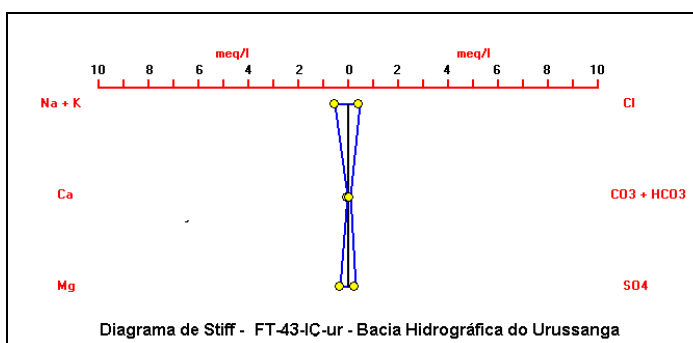


Diagrama 35: Diagrama de Stiff para a água da fonte 43.

De maneira geral, as análises nos diagramas de Piper e Stiff deixaram claro que, em sua maior parte, as águas de poços tubulares são bicarbonatadas sódicas, ao passo que as águas do freático são predominantemente cloretadas sódicas, ressaltando a influência direta da água da chuva com influência marinha.

9.4 Gráficos semi-logarítmicos de Schoeller e diagramas de SAR

Os gráficos semi-logarítmicos apresentaram resultados complementares à análise das assinaturas das águas, através de Piper e Stiff, bem como contribuíram para interpretar a formação de conjuntos ou grupos de diferentes águas, que

também se averiguou com o estudo estatístico multivariado. Na interpretação desses novos gráficos, no eixo das abcissas, têm-se os poços tubulares ou escavados, por exemplo, numerados em ordem crescentes e, no eixo das ordenadas, apresentou-se o logaritmo das concentrações dos metais, bem como das outras variáveis contempladas no estudo.

De acordo com a metodologia empregada neste trabalho, de aplicar a técnica conforme a modalidade de coleta de água, seguem os gráficos e as considerações para poços tubulares, ponteiros, poços escavados e fontes.

9.4.1 Poços Tubulares

Os resultados, dos gráficos de Schoeller, mostraram que as águas dos poços tubulares agrupam-se em torno de três naturezas distintas, conforme o tipo rochoso sobre o qual o poço se situa. Existe água relacionada à litologia granítica, com poucos sólidos totais dissolvidos, água com elevada carga iônica, relacionada com a planície fluvial e rochas sedimentares, mas com influência de rochas básicas, e, por último, água relacionada à litologia da Formação Rio Bonito.

Abaixo seguem os gráficos de metais, sais e demais variáveis que foram estudadas (Gráficos 08, 09 e 10). Na seqüência, apresentam-se as conclusões sobre as águas dos poços tubulares, com base nos gráficos.

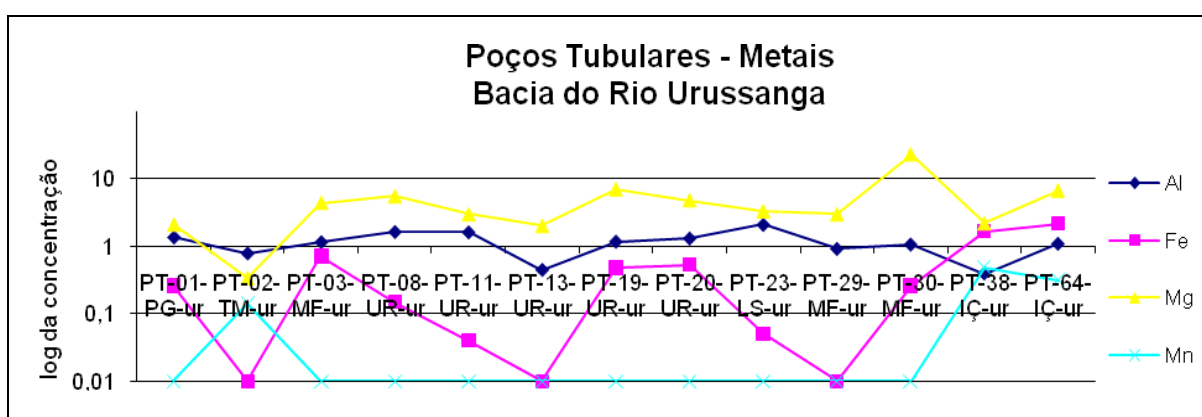


Gráfico 8: Concentração dos metais analisados nas águas dos poços tubulares.

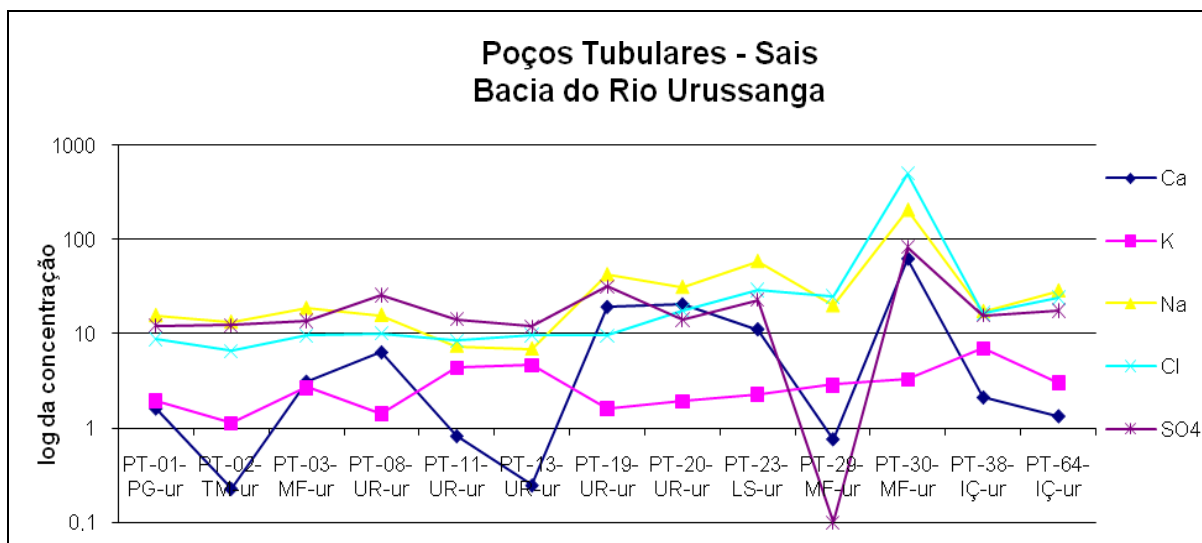


Gráfico 9: Teores de sais nas águas dos poços tubulares.

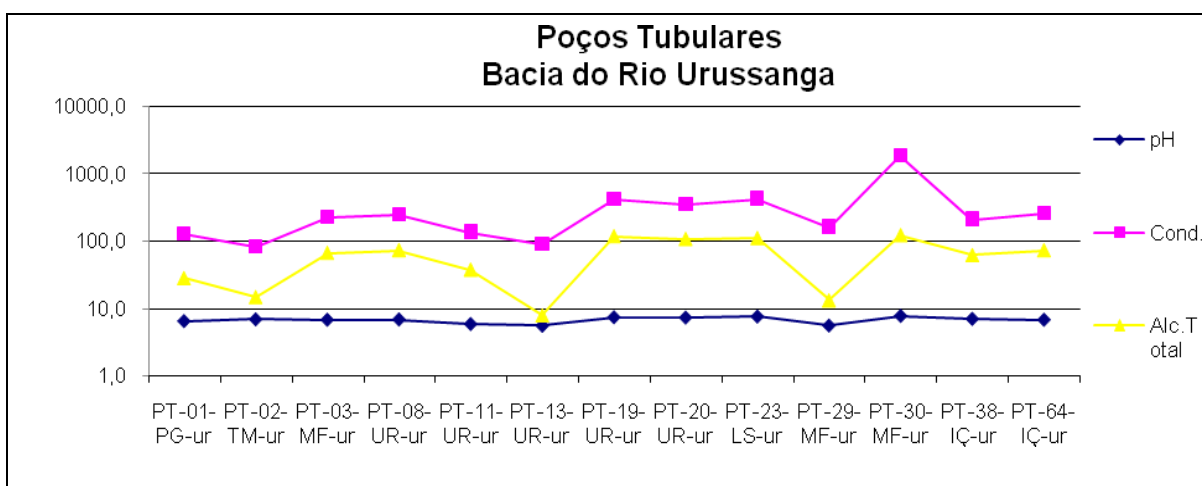


Gráfico 10: Condutividade elétrica, alcalinidade total e pH das águas de poços tubulares da BRU.

- PT 01: Nesse poço, a concentração de magnésio foi baixa se comparado aos outros poços. Não possui manganês, e o ferro esteve no limite máximo para o consumo humano, ou seja, 0,3 mg/l. De acordo com a Portaria do MS nº 518, de 25 de março de 2004, os teores de alumínio excedem, em mais de seis vezes, o máximo permitido de uma água potável para o consumo humano.

- PT 02: Nas águas desse, além da concentração de alumínio se apresentar fora dos padrões para consumo humano, o manganês excedeu os limites toleráveis. Essas águas possuem pouco magnésio, baixa condutividade e alcalinidade. Os teores de cálcio e potássio foram baixos. A proporção de cloreto, sulfatos e sódio total equilibraram-se, assemelhando muito àquela do poço 01.

- PT 03: Sua água possui grande carga de metais, com exceção do manganês. Os teores de ferro e alumínio estão acima dos limites estabelecidos para

consumo humano. Com a grande quantidade de magnésio, cálcio e potássio, a alcalinidade e a condutividade acentuaram-se. Os sulfatos, cloreto e sódio apresentaram proporções semelhantes, ficando na média se comparados a outros poços tubulares.

- PT 08: Na água desse, os teores de alumínio foram oito vezes acima do permitido para consumo humano. Os demais metais estiveram dentro dos parâmetros legais. Observou-se, ainda, que existiu menos potássio que cálcio e mais sulfato que sódio.

- PT 11: Nessa água, a concentração de alumínio dissolvido também extrapola o permitido para consumo humano. Foi detectada a presença massiva de magnésio, refletindo numa elevada condutividade. Inexpressiva foram concentrações de ferro e manganês. Chama atenção o fato de existir oito vezes mais potássio, se comparado ao cálcio. Os sulfatos predominaram em relação ao sódio e aos cloretos.

- PT 13: Nessa água, há baixa concentração de metais, mas o alumínio esteve acima do permitido para consumo humano. Ferro e manganês não foram detectados, a alcalinidade total foi muito baixa e o pH também, constituindo água um pouco ácida. Ocorreu elevada concentração de potássio em relação ao cálcio, e mais sulfatos que cloretos, no entanto, estas concentrações estão dentro dos limites toleráveis para consumo humano.

- PT 19: Para esta água os índices de ferro e alumínio estiveram acima do permitido para consumo humano. Ocorreu muito magnésio e cálcio, que reflete nas altas condutividade elétrica e alcalinidade total. As águas apresentaram muito sulfato e sódio, mas pouco cloretos.

- PT 20: Sua água assemelhou-se à água do poço 19. O ferro e o alumínio extrapolaram os índices de potabilidade. O excesso de cálcio elevou a alcalinidade total e, conseqüentemente, aumentou o pH. Foi encontrada expressiva concentração de sódio e sulfato, todavia, todavia a água ficou de acordo com as normas legais.

- PT 23: Com teores de alumínio dez vezes acima do permitido, essa água apresentou pouco ferro e manganês. Possui elevada condutividade elétrica e alcalinidade total. Apresentou baixa concentração de cálcio, e destacou-se por ter mais sódio e sulfatos.

- PT 29: Apresentou água com grande carga iônica no geral, mas pouco magnésio e teores não detectados de ferro e manganês. A concentração de

alumínio extrapolou o permitido para consumo humano. O sulfato é praticamente inexistente e, também ocorreu pouco cálcio. Há grandes concentrações de cloreto, sódio e potássio, mas dentro dos padrões exigidos.

- PT 30: Nessa água, a concentração de ferro esteve no limite máximo de potabilidade. Já, as concentrações de alumínio, cloreto e sódio ultrapassaram os limites permissíveis. Não foi diagnosticado manganês, mas foi a água que apresentou maior concentração de magnésio e, conseqüentemente, maior condutividade. As concentrações de cálcio e sulfato, também estiveram muito acima da média dos poços tubulares. Essas águas são salobras e impróprias para consumo humano, agricultura e indústria. Ocorreu o fechamento do poço, entretanto poderia ser praticada a dessalinização.

- PT 38: A água desse poço apresentou os teores de alumínio, ferro e manganês acima dos padrões de aceitação para consumo humano e ocorreu pouco magnésio. As concentrações de cloretos, sulfato e sódio equilibram-se. Ocorreu mais potássio que cálcio.

-PT 64: Água semelhante ao poço 38, com mais alumínio e ferro e menos manganês, todavia todos acima dos limites permitidos para consumo humano. Apresentou pouco potássio e cálcio.

As águas desses dois poços (38 e 64) apresentaram teores de metais pesados significativos, no entanto, condizentes com o *clarke* natural das rochas da Formação Rio Bonito.

9.4.2 Ponteiras

Os resultados dos diagramas de Schoeller, para ponteiras (Gráficos 11, 12 e 13), ressaltaram que existem três tipos de águas para os cinco casos analisados. Em conformidade com o estudo estatístico (Gráfico 4), ficou evidente que águas das ponteiras 08 e 21 assemelham-se, assim como, as das ponteiras 19 e 23.

A ponteira 04 possui teor maior de magnésio que as outras ponteiras, ferro abaixo e alumínio acima do permitido para consumo humano. A ponteira 08 apresentou água similar à ponteira 21, com alumínio acima do permitido, sem ferro ou manganês. A ponteira 19 foi a única a apresentar manganês, por sinal, cinco vezes acima do máximo permitido. Apresentou, ainda, maior quantidade de sólidos

totais dissolvidos. A ponteira 23 possui a água com menos íons metálicos, sendo a única ponteira que apresentou os parâmetros de metais e sais dentro das conformidades de potabilidade da Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04.

No que se refere aos sais, todas as ponteiras fornecem água potável, entretanto há diferença de constituição entre estas águas. Na ponteira 04, a concentração de sais é maior, todos os íons estão em equilíbrio. As ponteiras 08 e 21 apresentaram águas similares, sendo que, na primeira, ressalta-se o baixo teor de cálcio e potássio e, na segunda, mais sulfato. As ponteiras 19 e 23 possuem semelhanças quanto aos sais, com sulfato não detectado e pouco potássio.

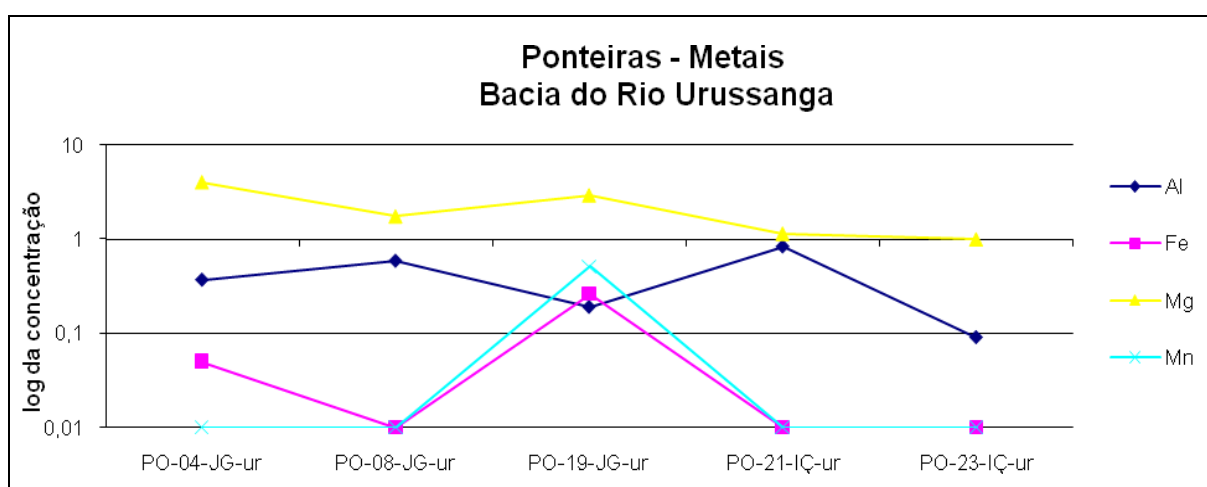


Gráfico 11: Distribuição dos metais em ponteiras.

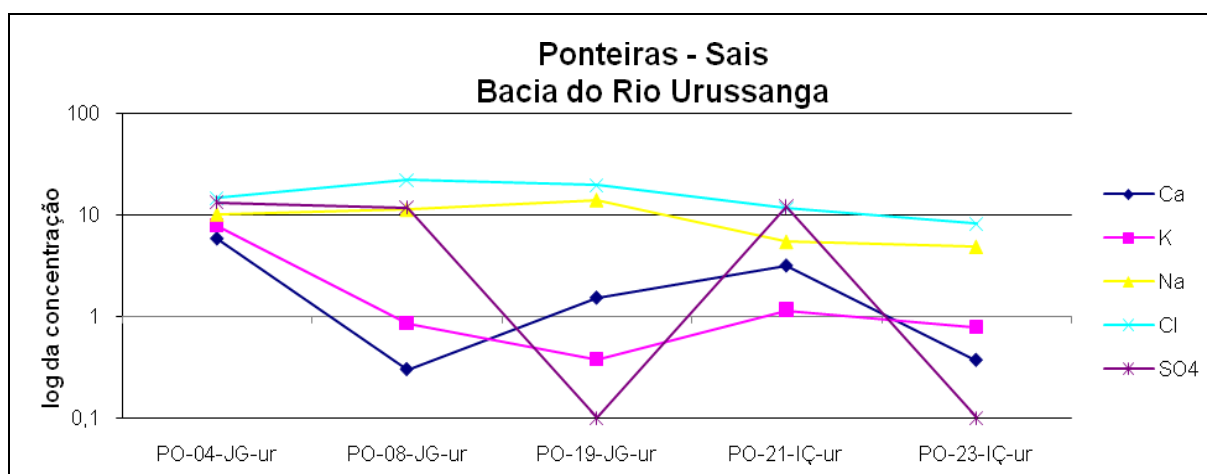


Gráfico 12: Teores de sais nas águas das ponteiras.

A água da ponteira 04 apresentou maior condutividade elétrica e, a da ponteira 23, a menor. Isso se deve pela alta concentração de sólidos totais dissolvidos, encontrados na água da primeira em relação à segunda ponteira. As

águas das ponteiros 08 e 21 são distintas quanto ao valor de alcalinidade total, mas se assemelharam nas demais variáveis.

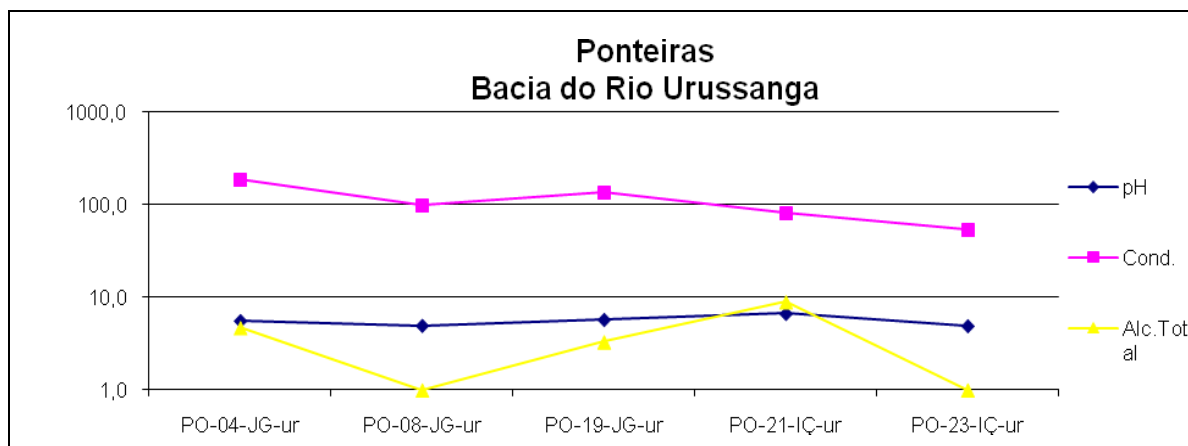


Gráfico 13: pH, Alcalinidade e Condutividade nas águas de ponteiros

9.4.3 Poços Escavados

A análise dos diagramas de Schoeller para poços escavados (Gráficos 14, 15 e 16) evidenciou diferentes assinaturas das águas, reforçando os resultados encontrados através da estatística, dos digramas de Piper e Stiff.

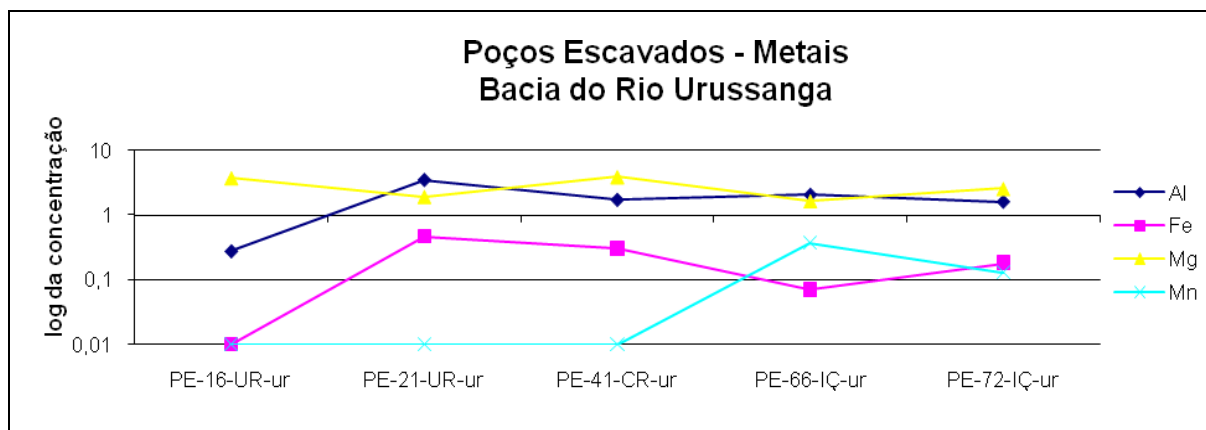


Gráfico 14: Concentração de metais nos poços escavados.

De acordo com o gráfico de metais para as águas dos poços escavados, a do poço 16 não apresentou ferro ou manganês, estando o teor de alumínio pouco acima do permitido para consumo humano. O poço 21 apresentou dezessete vezes mais alumínio do que o sugerido para água potável, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04. A quantidade de ferro também, esteve acima, concorrendo para o baixo pH. O poço escavado 41 apresentou água sem manganês, assim como o poço 21, todavia com similares proporções de alumínio e ferro e com baixo pH. Já o poço 66 apresentou água com pouco ferro, mas com

excessiva carga de manganês e alumínio. Assim, como o poço 66, o poço 72 possui manganês e alumínio acima dos índices aceitáveis de potabilidade.

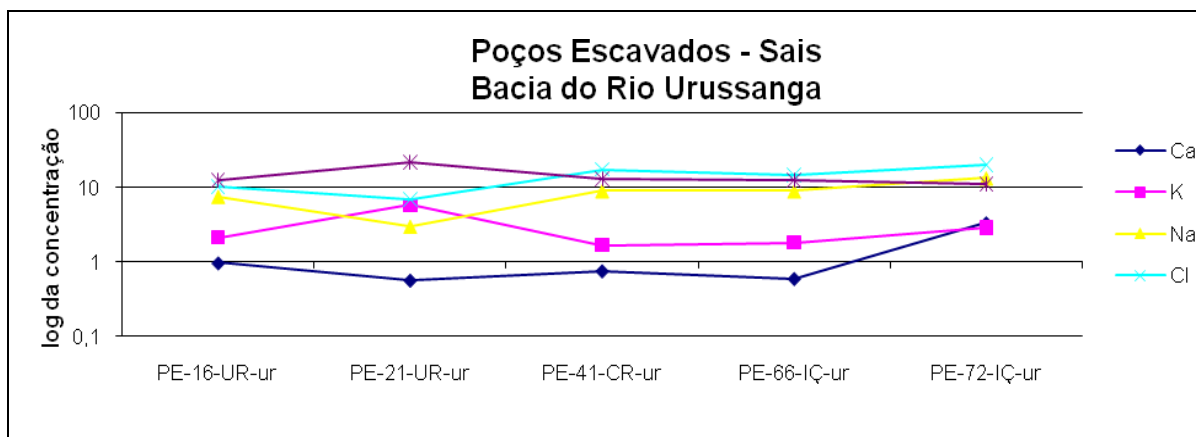


Gráfico 15: Concentração de sais nas águas dos poços escavados.

Quanto aos teores dos sais, ficou evidente um equilíbrio nas distribuições, sendo que o poço 21 apresentou água com menos cloretos e sódio e mais sulfatos do que a do poço 72. Os sais nas águas dos poços 41 e 66 possuem distribuição similar. O poço 72 apresentou água com maior alcalinidade total, pela maior quantidade de cálcio, e maior condutividade elétrica, que pode ser atribuída a maior proporção de magnésio e cloreto de sódio, se comparada às águas de outros poços escavados.

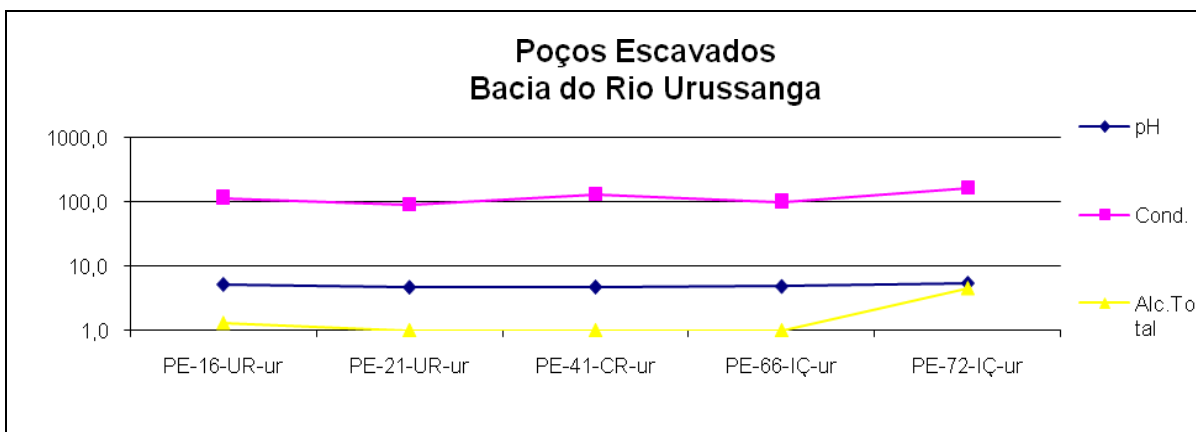


Gráfico 16: Condutividade, alcalinidade e pH nas águas de poços escavados BRU.

9.4.4 Fontes

De maneira geral, as águas das fontes apresentaram-se fracamente cloretadas sódicas. Esta assinatura prevaleceu diante da baixa concentração de sólidos totais dissolvidos, como a inexistência de manganês, pouco magnésio e cálcio (Gráficos 17, 18 e 19). As fontes 01, 04, 06 e 39, fornecem água fora dos

padrões de potabilidade estabelecidos pelo Portaria do MS nº 518/04, pois suas águas apresentaram excessos de alumínio e ferro dissolvidos. Também nas águas das fontes 09, 11 e 43, as concentrações de alumínio se apresentaram fora dos padrões de potabilidade.

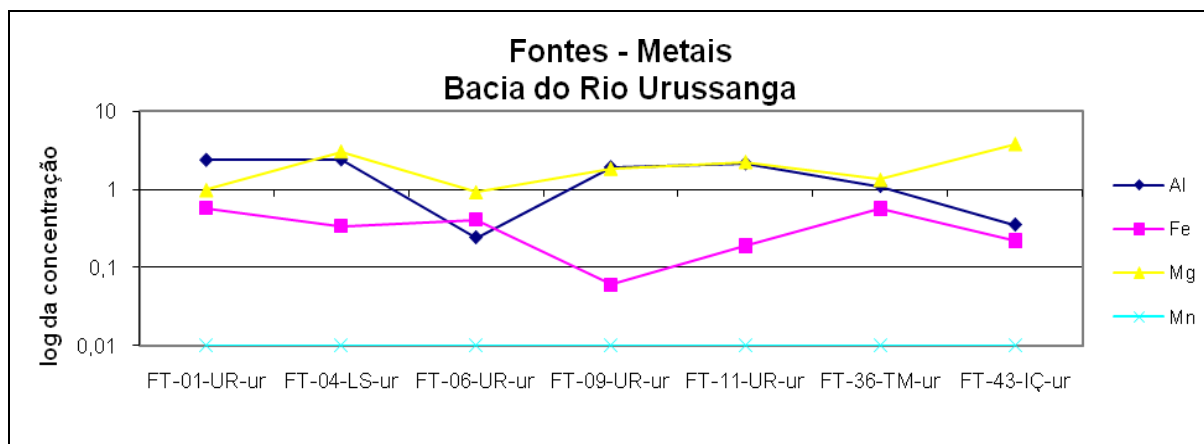


Gráfico 17: Concentração de metais nas águas de fontes.

De acordo com o Gráfico 17, fica evidente que a água da fonte 06 possui menos alumínio e magnésio, se comparada às demais. A fonte 09 possui menos ferro, por outro lado, mais alumínio. As fontes FT 01 e 36 possuem teores de metais semelhantes, assim como as fontes 09 e 11. Vale ressaltar que essas aproximações não revelam a assinatura hidroquímica dessas águas, que é determinada pelas relações existentes entre a variedade e a concentração de sais diluídos em cada água.

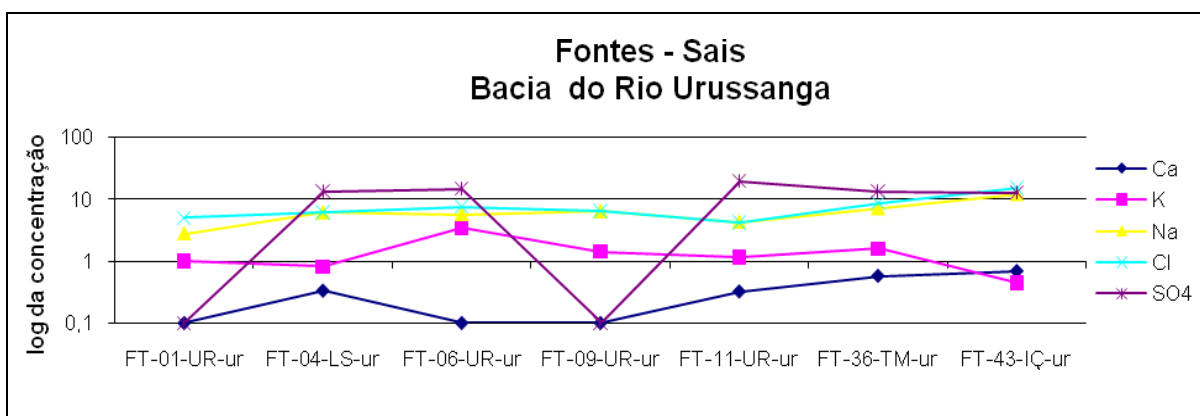


Gráfico 18: Concentração de sais nas águas de fontes.

A concentração de cloretos é constante nas águas dessas fontes, com exceção da 43, que apresentou água com grande teor dos referidos íons. A concentração de cálcio encontrada foi majoritariamente inferior à de potássio. As fontes 01 e 09 possuem similaridades quanto aos sais, com pouco sulfato e cálcio.

Já, as fontes 04 e 11 assemelham-se pela grande quantidade de sulfato e cálcio. A água da fonte 06 possui mais potássio se comparado ao cálcio, a da fonte 36, mais cloretos. A água da fonte 43 destoa das demais, com concentração de cálcio superior à de potássio. No que se refere aos sais, todas as águas de fontes estão dentro dos padrões determinados pelas normas legais.

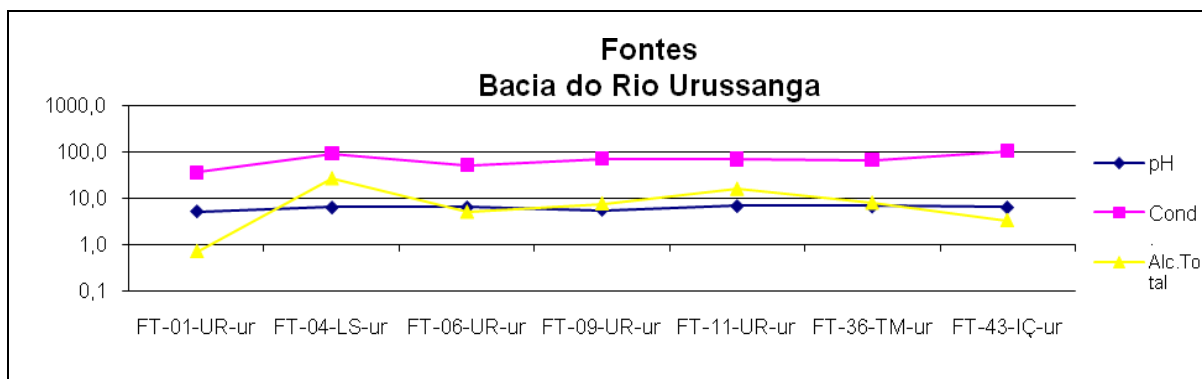


Gráfico 19: Condutividade, Alcalinidade e pH para as águas de fontes analisadas.

As maiores condutividades elétricas ocorrem nas águas das fontes que possuem maior carga de magnésio e alumínio. Os maiores valores de alcalinidade refletem maior concentração de cálcio e magnésio (dureza).

9.4.5 Diagramas de Riscos de Salinidade (SAR)

A tolerância das plantas quanto à salinidade varia muito. Para tanto, cientistas desenvolveram diagramas, com os quais se pode averiguar a utilidade agrícola de uma água. O mais utilizado é o diagrama de SAR, do *U.S. Salinity Laboratory Staff*, onde, no eixo vertical, se localiza a SAR (taxa de adsorção de sódio) e, no eixo horizontal, a condutividade da água.

Os diagramas de SAR para todos os casos, poços tubulares, ponteiras, poços escavados e fontes da BRU seguem abaixo (Diagramas 36, 37, 38, 39 e 40). Conforme pode ser visto no Diagrama 36, as águas de poços tubulares apresentaram maiores riscos à salinidade e à concentração de sódio. Ficou evidente que a água subterrânea do poço 30 é imprópria para atividade agrícola, mesmo para cultura adaptada a muito sal. A concentração de sódio encontrada nesse poço poderia ser mais elevada, devido à natureza argilosa e siltosa do terreno, favorecendo a troca de bases. Nos diagramas 36, 37, 38, 39 e 40 aparecem menos casos que o total desta pesquisa, que foram 30. Isto se deve ao fato de alguns

casos concentrarem menos que 64 mg/l do total de sais dissolvidos, ficando com risco de salinidade nulo e, evidentemente, fora da área de plotagem dos diagramas de SAR.

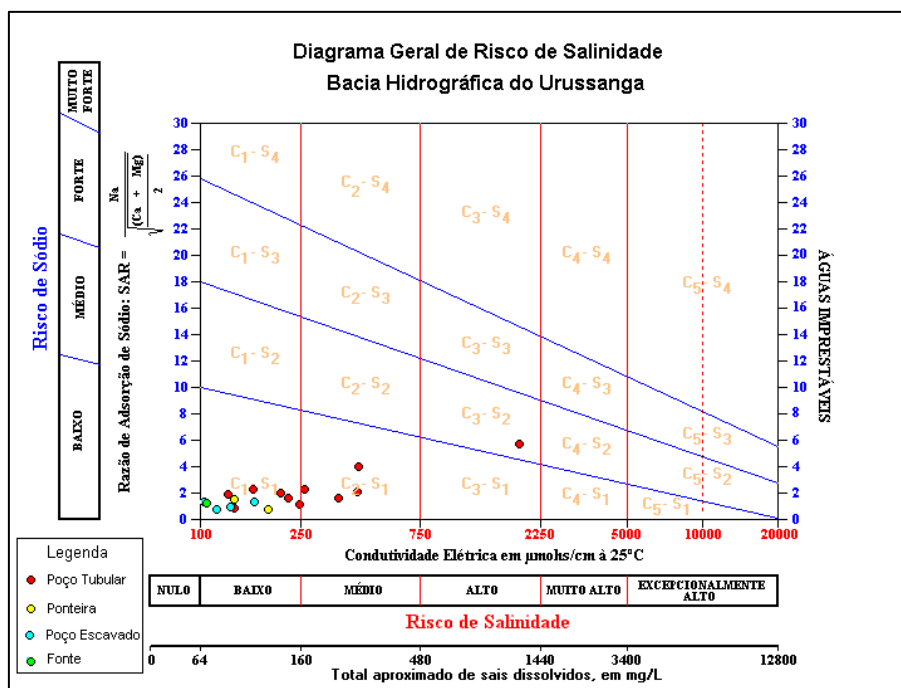


Diagrama 36: Diagrama de SAR para todos os casos de coleta de água subterrânea na BRU. Nota-se que somente 18 casos estão representados, pois são os únicos que apresentaram mais de 64 mg/l de sais.

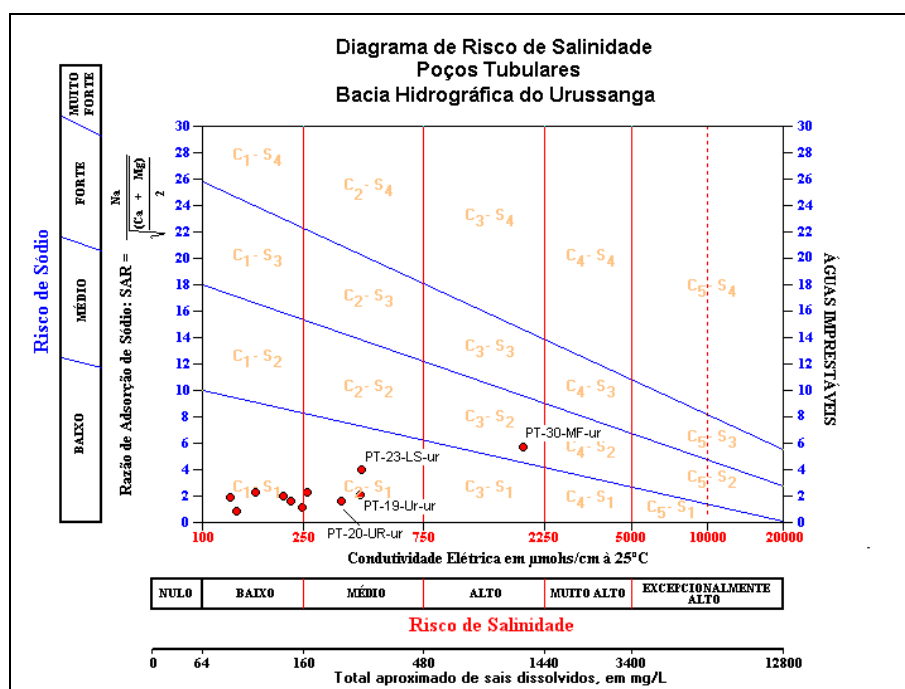


Diagrama 37: Diagrama de SAR para poços tubulares na BRU. Ficou evidente pelo cruzamento dos eixos da razão de adsorção de sódio, pelo risco de salinidade, que as águas do poço 30 são salobras, impróprias para a agricultura e com restrições específicas para demais usos.

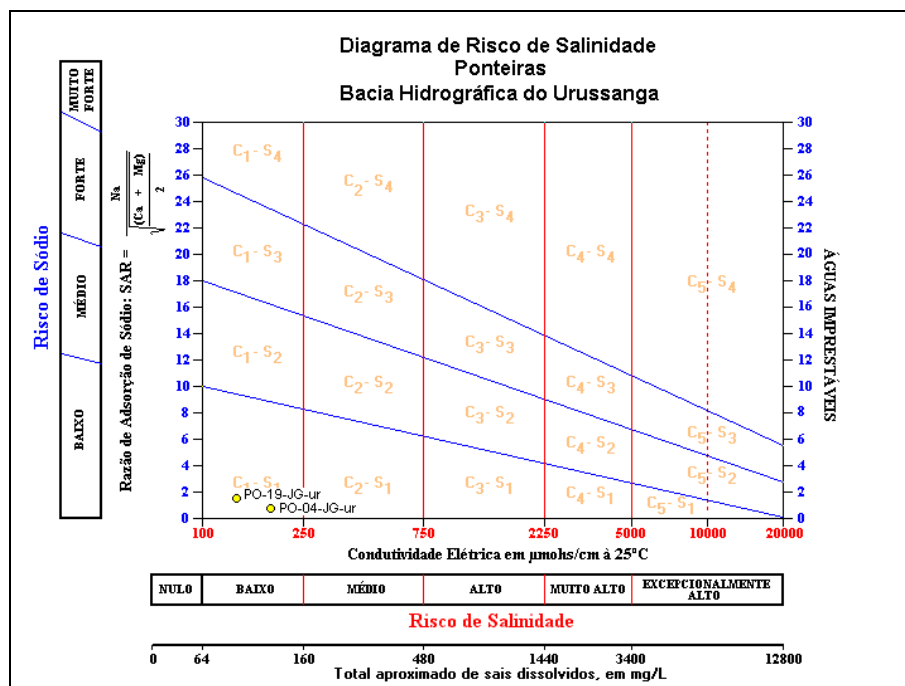


Diagrama 38: Diagrama de SAR para ponteiras na BRU. Nesse diagrama estão plotados os únicos casos com maiores concentrações de sais, ficando evidente que o risco de salinidade das águas é baixo.

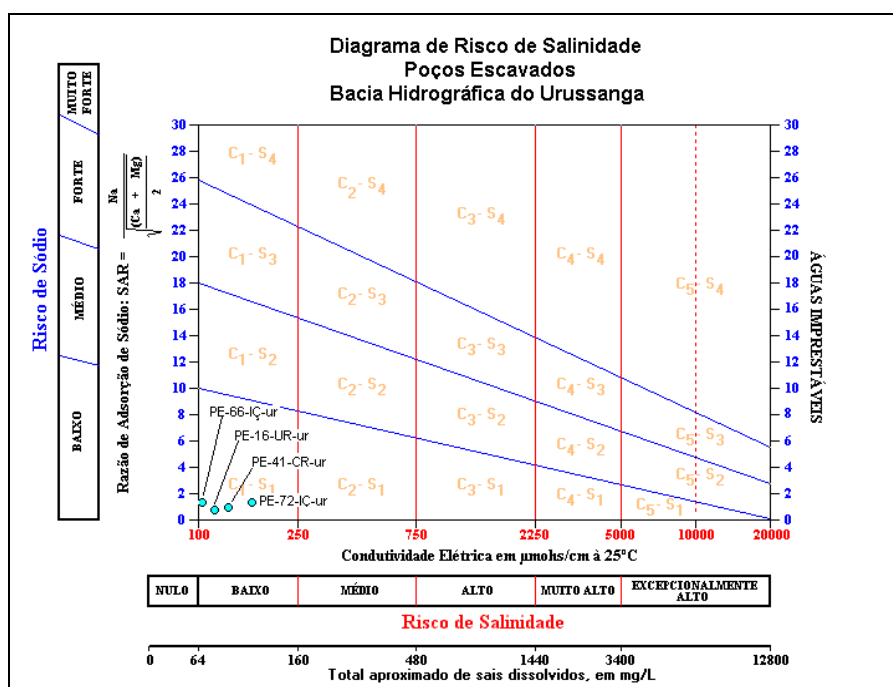


Diagrama 39: Diagrama de SAR para poços escavados na BRU. Para quatro casos de águas de poços tubulares o risco de salinidade também é baixo. Um dos casos, o PT -21, apresentou concentrações de sais inferior a 64 mg/l ficando fora da área de plotagem.

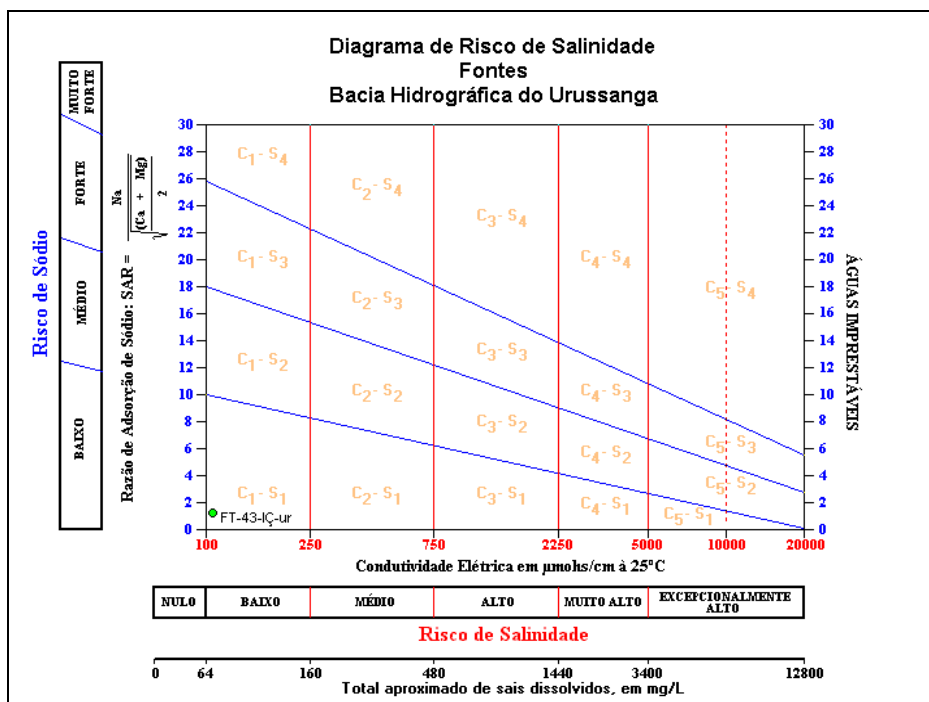


Diagrama 40: Diagrama de SAR para fontes ou nascentes na BRU. Somente um caso apresentou pequena concentração de sais.

Ficou evidente, nos Diagramas 37, 38, 39 e 40, que as águas de poços escavados, ponteiros e fontes, quando empregadas para irrigação não oferecem riscos ao solo e ao cultivo. Já, os poços tubulares 19, 20 e 23 possuem baixo risco de adsorção de sódio, e salinidade média. O cultivo que se utilizar dessas águas terá de ser, obrigatoriamente, de plantas com tolerância moderada, como a couve, o tomate, a uva, o melão, a cenoura, a batata, o alface e a abóbora. Não poderão ser irrigados pelas águas dos referidos poços tubulares culturas como, abacate, limão, morango, pêssigo, ameixa, laranja, maçã, pêra e vagens.

9.5 Mapa Hidroquímico Final

Com o cruzamento dos mapas de pontos de campo, geológico, geomorfológico e de fontes de poluição, somados aos resultados das análises estatísticas (ACP e agrupamento), diagramas de Piper, Stiff e Schoeller, obteve-se o mapa hidroquímico da Bacia do Rio Urussanga (Mapa 7). Nesse mapa, estão representadas cinco classes de águas quimicamente diferentes, a saber: águas bicarbonatadas sódicas, cloretadas sódicas, sulfatadas, salobras e mistas.

As águas bicarbonatadas sódicas, representadas em hachuras lilás, relacionam-se, preferencialmente às litologias da Formação Rio Bonito e do embasamento cristalino. São águas de poços tubulares e de uma fonte, situados sobre terrenos com poucas fontes de poluição. São águas naturalmente duras, com possibilidade de formação de depósitos e espuma em caixas e equipamentos, pois a água perde o dióxido de carbono por ficar parada. De acordo com Cederstrom (1964, p. 219), o tratamento dessas águas para abastecimento público era caro e demorado. Até 350 mg/l de bicarbonato de sódio na água, não implicará em restrições de uso e consumo humano. O bicarbonato de sódio é muito ruim para a agricultura, principalmente com concentrações acima de 500 mg/l. Somente a presença de cálcio corrige o pH de solo que foi irrigado com esse tipo de água.

O cloreto de sódio, por sua grande lixiviação continental, encontra-se associado a áreas próximas ao oceano. Isso acontece na BRU, pois as águas subterrâneas da Planície de Cristas Praiais com Dunas são cloretadas sódicas. Na Planície Fluvial, a água doce pode estar se misturando com águas salgadas da cunha salina, pois, nesse setor da bacia, as águas são cloretadas sódicas. Porém, as razões podem ser outras não visualizadas ainda. Outra possibilidade é o ciclo natural do cloro e do sódio, causado por ventos próximos ao mar, que pode precipitar esses íons através das chuvas. A água cloretada é corrosiva para maquinários, péssima para a agricultura e para a saúde humana, podendo provocar problemas estomacais, circulatórios, renais e hipertensão arterial.

O sulfato de cálcio torna a água dura e essa dureza é permanente. O gosto de uma água sulfatada é forte, não mitiga a sede, não faz espuma e incrusta caldeiras nas fábricas. Os minerais contendo enxofre dão origem aos sulfatos. Na BRU, águas sulfatadas são encontradas naturalmente no aquífero Rio Bonito, nas imediações de Içara. Todavia é possível que, ao norte de Criciúma e nas cabeceiras do Rio Caeté, em Urussanga, essa assinatura hidroquímica tenha estado presente pela disposição de pilhas de rejeitos da mineração carbonífera e mineração em subsolo. Pode-se afirmar que, em tais áreas, a poluição superficial alcançou as águas subterrâneas.

As águas salobras são imprestáveis para qualquer tipo de uso, pois, contêm muitos sólidos totais dissolvidos. Alguns sais e metais são tóxicos em excesso. Na BRU, esse tipo de água foi encontrado, sendo representado, localmente, pelas águas subterrâneas do poço tubular PT-30. Conforme o mapa

hidroquímico, esse poço possui um diagrama horizontal de Stiff, que demonstra, em meq/l, a grande carga iônica de suas águas. Pode-se começar a pensar em dessalinização dessas águas para não perder as mesmas e os poços.

As águas mistas compreendem sais e metais distribuídos de forma que nenhuma assinatura hidroquímica predomina. Foram encontradas, dentro da BRU, três áreas separadas contendo águas desse tipo. Relacionam-se a diferentes substratos geológicos, mas têm o fato em comum de serem poços localizados em áreas de contato de rochas de diferentes origens e idades, com ambientes deposicionais diversos. Como exemplo, cita-se a FT-36, localizada na área de contato do embasamento cristalino, constituído por granito, com a Planície Fluvial do Rio Urussanga. Dependendo do uso que se fizer dessas águas, algumas considerações, quanto à qualidade, devem ser observadas particularmente, no intuito de se diagnosticar as inadequações para consumo humano, expressas na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, ou para agricultura como nos diagramas de SAR.

10 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através da análise de componentes principais (ACP) e agrupamento (*cluster*) foram esclarecedores para interpretação do comportamento geral das águas subterrâneas na Bacia do Rio Urussanga (BRU). Essas técnicas demonstraram ser complementares entre si e quando aplicadas conjuntamente chega-se a respostas elucidativas.

Depois de efetuadas as comparações dos resultados hidroquímicos, apresentados em técnicas diferentes, verificou-se que a ACP não é tão eficiente quando o agrupamento em grupos de similaridade. Na técnica de ACP fez-se a hipótese que amostras e poços são independentes, o que não pode ser verdade. Isso porque a hipótese inicial é de que os casos (pontos de coleta) e as variáveis físico-químicas são independentes e identicamente distribuídos, examinados aleatoriamente, como sugerido nos procedimentos metodológicos, capítulo 2.

Desta forma, os casos não podem interagir uns com os outros, ou não serem afetados por outro fenômeno incomum (como a geologia ou recarga do freático, similares em alguns casos). Todavia, a análise de componentes principais com a interação dos casos num mesmo gráfico, permite sugerir fenômenos que os influenciam concomitantemente.

Outro aspecto identificado foi que as interpretações em ACP e agrupamento resultaram nos mesmos subgrupos de casos, compostos por pontos isolados. Desta forma a ACP, por mais que não tenha sido tão eficiente quanto o agrupamento, evidenciou a formação de grupos ou assembléias de similaridade hidroquímica.

Utilizando-se do software *surfer*, que serviu como instrumento para situar os pontos de coleta sobre o mapa geral da rede hidrográfica da BRU (Mapa 1), plotou-se, os pontos de coleta (Mapa 6), e os subgrupos obtidos na análise de agrupamento e dos principais componentes. Das análises estatísticas, obtiveram-se três subgrupos para cada modalidade de coleta de água subterrânea (PT, PE, PO e FT). Foram totalizados doze grupos com diferentes tipos de águas, comentados nas análises específicas de agrupamento por similaridade e componentes principais. Estes poços tubulares, ponteiras, fontes e poços escavados de onde foram colhidas as águas assentam-se sobre solos, ou mesmo rochas, de variadas constituições químicas.

Sabe-se que cada rocha possui um *clarke* diferenciado, principalmente àquelas formadas sob condições específicas. Na BRU existe granito Pré-Cambriano, rochas sedimentares gonduânicas, diabásio e planície costeira quaternária. Cada rocha “libera” constituintes geoquímicos específicos em suas águas, por isso encontrou-se tamanha complexidade de variáveis representativas para as águas subterrâneas na referida Bacia.

O significado geoquímico de cada íon, com sua específica concentração, nas águas da BRU foi, parcialmente, explicado pela geologia, pois anomalias geoquímicas foram identificadas, sugerindo poluição da água subterrânea, como diagnosticado pelas técnicas de ACP, agrupamento, diagramas ternários de Piper, horizontais de Stiff e semi-logarítmicos de Schoeller. O caso relacionado ao poço tubular 30, que ofertava água para agroindústria, que tinha o problema de incrustação de caldeira, foi um exemplo diagnosticado. As águas da fonte 06 e do poço escavado 21, também apresentaram dados relativos à poluição antrópica.

Entretanto, deve-se ressaltar que as análises físico-químicas, feitas em laboratório, não foram completas, faltando ânions como nitratos, nitritos, OH^- , CO_3^{2-} e HCO_3^- , o que não permitiu o fechamento do balanço iônico das amostras. Esse fechamento foi feito com a hipótese de que os principais ânions faltantes seriam HCO_3^- e CO_3^{2-} . Convém lembrar que NO_3^{2-} e NO_2^- são indicativos de atividades antrópicas. Desta forma, num trabalho futuro, para a mesma área, deveriam ser efetuadas análises que contemplassem os nitritos e nitratos.

Dentre os pontos de águas subterrâneas pesquisados na BRU, nenhum apresentou como finalidade principal a irrigação. Todavia se o uso destas águas for destinado à atividade agrícola, devem ser consideradas as propriedades químicas. A salinidade não pode ser alta, a quantidade de sódio não pode ser elevada, em relação ao magnésio e ao cálcio.

É certo que um estudo hidrológico deve apresentar as características químicas das águas analisadas para predizer sua qualidade, todavia, deve também, aconselhar seu uso e, se possível sugerir certos tratamentos corretores de anomalias geoquímicas encontradas. Muitas das anomalias químicas têm por base problemas de ordem física e não são verdadeiras anomalias. As mudanças na qualidade da água de um aquífero inicialmente são verificadas quando as propriedades organolépticas sofrem alterações, ou porque verifica-se que os poços foram mal construídos, com colapso de filtro ou vedados de forma errada.

Entretanto faltam diretrizes que regulamentem o revestimento e selamento da parte superior dos poços, principalmente em áreas com distritos industriais, residências com fossas sépticas, confinamento animal, disposição de rejeitos sólidos e líquidos e depósitos de substâncias químicas. Na BRU as ponteiros são construídas por profissionais amadores, assim como os poços escavados e quiçá os tubulares, fato que evidencia o despreparo na exploração da água subterrânea. Nos Estados Unidos a legislação federal exige no mínimo 30 metros de um poço para uma fonte potencialmente poluidora, decisão arbitrária, que pode variar com as especificidades de um lugar. No Brasil não existe fiscalização para tais assuntos, mesmo existindo legislação.

Algumas das ações corretivas, de ordem física, para um poço tubular, consistem em vedar e revestir o espaço anular com cimento, estender o revestimento em nível mais profundo, reduzir a vazão de bombeamento evitando a intromissão da cunha salina, quando perto dos oceanos, re-desenvolver o poço ou instalar diâmetro de menor revestimento dentro do original, a fim de corrigir possíveis entradas de água de diferentes intervalos aquíferos.

Na BRU a ponteira 04 foi refeita, pois sua água estava apresentando alterações das propriedades organolépticas. Já o poço tubular 19 teve revestido o espaço anular, bem como aprofundado, pois abastece indústria que necessita de água de boa qualidade e, quando furado pela primeira vez, as águas deste poço demonstraram interface com as superficiais, que nas adjacências do poço é representada pelo Rio Urussanga, altamente poluído.

De acordo com Custodio & Llamas (1983b, p. 1899) as alterações químicas das águas subterrâneas podem ser contornadas com específicos tratamentos corretores. Em águas carbonatadas, que originalmente são corrosivas, deve-se aumentar a dureza com óxido de cálcio. Nas águas bicarbonatadas cálcicas, naturalmente muito duras e, conseqüentemente, incrustantes, deve-se corrigi-las com filtro do mineral glauconita com a qual, por troca de bases, o cálcio é depositado e o sódio passa à solução. Assim a água torna-se bicarbonatada sódica.

Os resultados das análises de água, para os 30 casos na BRU, demonstraram para as águas captadas em ponteiros, poços escavados e fontes, ou seja, no freático, que não é necessário tratamento corretor das águas quanto ao excesso de carbonatos, pois as mesmas são de assinatura hidroquímica cloretada sódica. Entretanto, as águas dos poços tubulares 19, 20 e 23 apresentam-se

fortemente carbonatadas, sendo potencialmente corrosivas. A água do poço 19 serve para resfriamento de caldeiras de uma indústria, a do poço 20 para dessedentação animal numa granja de frangos, a do poço 23 para lavação de veículos. É interessante perceber que mesmo com usos diversos, as águas destes três poços não apresentam qualidade para os usos em que são empregadas.

Águas com sulfato de cálcio são de difícil tratamento corretor, pois o sulfato sempre se mantém em solução. As águas magnesianas podem ser facilmente corrigidas com adição de dióxido de carbono através da disposição de calcário. As águas dos poços escavados 16 e 21 apresentaram viés sulfatado. Ambos os poços foram abertos para uso familiar, sendo que encontram-se temporariamente desativados pelos proprietários quando estes perceberam alterações qualitativas nas águas. O poço 16 apresenta teores de sulfato condizente com o solo residual da Formação Rio Bonito, já o poço 21 teve sua água comprometida qualitativamente pela mineração carbonífera.

As águas com muito ferro são ruins para todos os usos, somente com aplicação do filtro de glauconita estas poderiam ser usadas em indústrias têxteis, alimentícias e de transformação. Foi encontrada quantidade significativa de ferro nos poços tubulares 38 e 64, bem como no poço escavado 21, como ficou evidente nos diagramas semi-logarítmicos de Schoeller. A água do poço 38 supre a necessidade de posto de gasolina e a do poço 64 abastece duas residências. Estas águas apresentam teores de ferro acima do permitido para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04. Mesmo assim estas águas vêm sendo empregadas para consumo humano.

Os autores Custodio & Llamas (1983b, p. 1900) registraram que em muitos casos as correções são possíveis e existem meios econômicos para efetuar-las, no entanto em outros casos as características de correção são economicamente inviáveis ou os resultados não terão êxito. Os mesmos autores recomendaram para desendurecimento de águas ricas em magnésio e cálcio a precipitação química com adição de cal comum, Ca(OH)_2 , dando como resultado a precipitação do carbonato de cálcio e do hidróxido de magnésio. Para casos complexos, com muito cloreto e sulfato, como as águas do poço tubular 30 na BRU, recomenda-se o emprego do cal comum juntamente com carbonato sódico, caso se queira aproveitar esta água e não optar pelo fechamento do poço. Entretanto, salienta-se que há a possibilidade de dessalinização.

Acessória ao desendurecimento por precipitação química existe a desmineralização por intercâmbio iônico. Este é um sistema que substitui os ânions, além dos cátions, levando a uma desmineralização total da água. Neste tipo de tratamento corretor existem os “trocadores de íons” que tem a capacidade de permutar íons que os constituem com os da solução aquosa que os contêm. A zeolita é indicada para este tratamento. Desta forma, um íon que influencie negativamente na qualidade da água, para um fim específico, pode ser substituído por outro que não comprometa o uso desta água.

Conforme Custodio & Llamas (1983b, p. 1902) a eliminação de ferro e manganês das águas é excessivamente trabalhosa e dispendiosa, pois necessita de muitas análises prévias para averiguar a concentração destes metais, utilização de cloro, ozônio e permanganato potássico, sob condições adequadas. A retirada do ferro pode dar-se com aeração, seguida de decantação e filtração, já o manganês depende da forma que se encontra, que pode ser como sal ou composto orgânico, necessitando, assim, da adição de coagulantes.

Para trabalhos futuros, que objetivem diagnosticar a qualidade das águas subterrâneas dentro da BRU, recomenda-se que as coletas de água sejam realizadas em ano em que os totais pluviométricos fiquem abaixo da média. Assim, os íons poderiam estar mais concentrados e, estes dados serviriam de comparação aos que foram apresentados neste trabalho, levantados em ano muito chuvoso.

O fato é que as águas do freático representaram 60% das amostras coletadas neste estudo e, pela rápida recarga desse aquífero livre, é possível que as concentrações iônicas tenham ficado mais diluídas nos meses chuvosos de agosto, setembro e outubro do ano de 2005. Neste trabalho, uma única campanha de amostragem pode ter sofrido influência das condições meteorológicas. Por causa deste excesso de chuva e pouco sol, os produtores de fumo da região tiveram sérios problemas de qualidade e produtividade do fumo colhido.

Salienta-se, também, que é interessante um monitoramento mais freqüente de poços críticos, como o poço tubular 30, atualmente desativado, para avaliar o ritmo ou evolução temporal da qualidade de sua água. Num estudo futuro seria interessante a abordagem de maior número de pontos de amostragem. Assim, o Mapa Hidroquímico não é o mapa definitivo da qualidade das águas subterrâneas na BRU, mas sim, preliminar.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. W. **An Introduction to Multivariate Statistical Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1958.
- BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **A História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002.
- BENDER, M. **Zoneamento Ambiental e Avaliação dos Recursos Hídricos na Sub-Bacia do Rio Rocinha, Município de Lauro Müller, SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis: UFSC, 1998.
- BUNTING, B. T. **Geografia do Solo**. Rio de Janeiro: Zahar, 1971.
- CABRAL, B. **Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Senado Federal, 1997.
- CASTRO, J. C. **Coluna White: Estratigrafia da Bacia do Paraná no sul do Estado de Santa Catarina – Brasil**. Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994.
- CEDERSTROM, D. J. **Água Subterrânea: uma introdução**. Rio de Janeiro: Missão Norte-americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil – USAID, 1964.
- CHOLLEY, A. **Observações sobre alguns pontos de vista geográficos**. Boletim Geográfico – CNG/IBGE, ano XXII – nº 179/ março e abril de 1964.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- CLARKE, R. T.; KING, J. **O Atlas da Água**. São Paulo: Publifolha, 2005.
- COMITÊ DA BACIA DO RIO URUSSANGA. **Caderno informativo**. Criciúma: IPAT-UNESC, 2008.
- CUSTODIO E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea – tomo 1 (a)**. Barcelona: Omega, 1983.
- _____. **Hidrologia Subterrânea – tomo 2 (b)**. Barcelona: Omega, 1983.
- DUARTE, G. M. **Depósitos Cenozóicos Costeiros e a Morfologia do Extremo Sul de Santa Catarina**. Vol. 01. Tese de Doutorado. São Paulo: USP, 1995.
- ESPINOSA, H. R. M. **Impactos e Conflitos na Gestão de Recursos Hídricos do Sul de Santa Catarina, Brasil**. Tubarão: Grupo de Gestão e Pesquisa em Recursos Hídricos – GRUPERH, Universidade do Sul de Santa Catarina, 2001.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA, Rio de Janeiro. **Conceito de conservação**. Trad. J. L. Belart. Belém, SUDAM, 1976.

FIBGE. **Geografia do Brasil**. Volume 5, Região Sul. Rio de Janeiro: SERGRAF – IBGE, 1977.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. **Geografia do Brasil**. Volume 2, Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

GOTHE, C. A. V. **Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera Catarinense**. In: Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente, Florianópolis: Anais do..., Mestrado em Geografia, UFSC, 1989. pp. 62-96.

_____. **Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera Catarinense**. Curso de Gerência do Meio Ambiente. Florianópolis: Eletrobrás, 03 e 22 de julho de 1988.

HARVEY, J. C. **The Properties of Groundwater**. Translation of: Die Beschaffenheit des Grundwassers (Matthess, Georg). New York: John Wiley & Sons, 1982.

HEATH, R. C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. United States Geological Survey Water Supply Paper nº 2220 Traduzido por: Mário Wrege e Paul Potter. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1982.

INFORMATIVO ANUAL DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA - 1996. Brasília: DNPM, 1996.

INOCÊNCIO, D. **Avaliação dos Efeitos Sociais e Ecológicos Provocados Pela Produção de Carvão na Bacia Carbonífera Catarinense**. TCC em Geografia – UFSC, Florianópolis: 1985.

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis: UFSC, 2004.

KREBS, A. S. J.; TEIXEIRA, M. B. **Mapa de Vegetação e Uso Atual do Solo na Área da AMREC**. In: Programa de Gestão Territorial Sul-Catarinense. Porto Alegre: CPRM, 1993.

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à Geoquímica I**. São Paulo: EDUSP, 1972.

LANDIM, P.M.B.; LOURENÇO, R. W. **Análise de Regressão Múltipla Espacial**. UNESP/campus de Rio Claro - Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 13, 2004.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. São Paulo: Cia Editora Nacional, 2001.

LEITE, C. B. B.; LANDIM, P. M. B. **Relação entre mapas temáticos por meio a análise de regressão múltipla: Solos e Rochas**. v. 26, no. 3, p. 195-203, 2003.

LISBOA, N. A. **Geoquímica de Águas Subterrâneas: A Relação Rocha-Água**. Porto Alegre: Instituto de Geociências - UFRGS, 1997. Texto digitado.

LOBECK, A. K. **Geomorphology - An Introduction to the Study of Landscapes**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1939.

MASON, B. H. **Principios de Geoquímica**. Trad. VILA, R.C.; Barcelona: Omega, 1960.

MEDRI, M. E. et al. **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2002.

MEIO AMBIENTE E CARVÃO: IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO E UTILIZAÇÃO. Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental – Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental, nº 02, 2002.

MELLO, J. B. F. **A Humanização da Natureza – Uma odisséia para a (re)conquista do paraíso**. In: Geografia e Questão Ambiental, Rio de Janeiro: IBGE, 1996, pp.31-40.

MENDES, J. C.; PETRI, S. **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1971.

MERCOSUL, Sub-Grupo de Trabalho 2. **Mapa de Integração Geológica da Bacia do Prata e Áreas Adjacentes: Boletim de Lançamento**. Buenos Aires: CPRM, 1988. 1v. mapa (Edição bilingüe português - espanhol).

MILANI, E. J. et al. **Bacia do Paraná**. Bol. Geoc. Petrobrás, v. 8 (69-82), 1994.

MILIOLI, G. **Mineração de Carvão e Desenvolvimento Sustentado no Sul de Santa Catarina**. Criciúma: Luana, 1995.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1975.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. de A. **O Clima no Trecho de Florianópolis – Porto Alegre: Uma Abordagem Dinâmica**. Florianópolis: Geosul, v. 10, nº 19/20, p. 117-133, 1996.

MONTEGGIA, L. O.; LEÃO, M. I. **Impacto da Mineração de Carvão nos Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina**. In: 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú: 20 a 25 de novembro de 1983.

NETO, J. M.; MOITA, G. C. **Uma Introdução à Análise Exploratória de dados Multivariados**. Teresina: Química Nova, 1998.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

ORELLANA, M. M. P. **Metodologia Integrada ao Estudo do Meio Ambiente**. Revista Geografia, Outubro de 1985, pp. 125-148.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1983.

PINTO, N. L. de S.; et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS: Legislação. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos MMA, 2002.

PONTELLI, M. E. **As Alterações em Depósitos de Leques Aluviais nos Vales dos Rios Amola Faca e Rocinha, Timbé do Sul-SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFSC, 1997.

ROCHA, G. A. **O grande manancial do Cone Sul**. USP, Estudos Avançados nº 30. 1997.

ROHDE, G. M. **Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto**. São Paulo: Signus, 2004.

SALGADO-LABORIAU, M. L. **História Ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

SANTOS, M. **A Redescoberta da Natureza**. Revista Estudos Avançados. v. 06 – n.14, São Paulo: EDUSP, 1992.

SCHAFER, J. L. **Analysis of Incomplete Multivariate Data**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 1997.

SCHEIBE, L. F. **A Geologia de Santa Catarina: Sinopse Provisória**. Florianópolis: Geosul, nº 1, p. 117-133, 1986.

SCHEIBE, L. F. e BUSS, M. D. **O Desenvolvimento e a Qualidade Ambiental da Região Sul Catarinense**. Florianópolis, Departamento de Geociências da UFSC, 1998.

SCHMIEGELOW, J. M. M. **O Planeta Azul**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO CARVÃO: O Combustível do Século XXI. Brasília: Câmara dos Deputados, 2005.

SEPLAN/SC. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Aerofoto Cruzeiro S.A. Rio de Janeiro, RJ, 1991.

SILVA, V. R. **Caracterização Física e Uso do Solo na Microbacia do Rio Maior, Urussanga – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis: UFSC, 1997.

SÔNEGO, M. **O Clima do Litoral Sul de Santa Catarina**. In: Seminário Interdisciplinar dos Cursos de Licenciatura, 3., Criciúma. *Anais...* Criciúma: UNESC, 2002. p.102-3.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia e interdisciplinaridade. Espaço Geográfico: interface natureza e sociedade.** Geosul, Florianópolis, v.18, nº35, jan./jul. 2003.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares.** São Paulo: Edgard Blucher, 1990.

_____. **Geologia Sedimentar.** São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambiente Fluvial.** Florianópolis: EDUFSC (v.02), 1980.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TODD, D. K. **Groundwater hidrology.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1980.

VALDATI, J. **Riscos Naturais – A Busca da Prevenção: o Caso da Bacia de Drenagem do Rio da Pedra, Jacinto Machado-SC.** Projeto de Dissertação. Florianópolis: UFSC, 2004.

VEADO, R. A. **Análise Ambiental e a Qualidade das Águas na Bacia do Rio Urussanga.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis: UFSC, 1989.

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: Livro de Resumos. Florianópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2002.

ZALÁN, P. V. et al. **Análise da Bacia do Paraná: relatório interno da Petrobrás.** Rio de Janeiro: Petrobrás, 1986.